



TUGAS AKHIR - SF141501

# PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN SIMULTAN SECARA OTOMATIS PADA IDCS (*INTERDIGITAL CAPACITANCE SENSOR*) BERBASIS ARDUINO UNTUK MENGUKUR PERMITIVITAS *CRUDE OIL*

BOGIVA MIRDYANTO  
NRP 1112100050

Dosen Pembimbing  
Dr. Melania Suweni Muntini, M.T  
Diky Anggoro M.Si

DEPARTEMEN FISIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017





**TUGAS AKHIR - SF141501**

**PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN  
SIMULTAN SECARA OTOMATIS PADA IDCS  
(*INTERDIGITAL CAPACITANCE SENSOR*)  
BERBASIS ARDUINO UNTUK MENGUKUR  
PERMITIVITAS *CRUDE OIL***

**BOGIVA MIRDYANTO  
NRP 1112100050**

**Dosen Pembimbing  
Dr. Melania Suweni Muntini, M.T  
Diky Anggoro M.Si**

**DEPARTEMEN FISIKA  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**



**FINAL PROJECT - SF141501**

# **DESIGNING ARDUINO BASED AUTOMATIC AND SIMULTANEOUS MEASUREMENT SYSTEM FOR CRUDE OIL PERMITIVITY TESTING USING IDCS (INTERDIGITAL CAPACITANCE SENSOR)**

**BOGIVA MIRDYANTO  
NRP 1112100050**

**Advisor  
Dr. Melania Suweni Muntini, M.T  
Diky Anggoro M.Si**

**Physics Department  
Faculty of Mathematics and Science  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017**

## LEMBAR PENGESAHAN

### PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN SIMULTAN SECARA OTOMATIS PADA IDCs (*INTERDIGITAL CAPACITANCE SENSOR*) BERBASIS ARDUINO UNTUK MENGUKUR PERMITIVITAS *CRUDE OIL*

#### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar  
Sarjana Sains  
pada  
Bidang Studi Instrumentasi  
Program Studi S-1 Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**BOGIVA MIRDYANTO**

**11 12 100 050**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing I  
Dr. Melania Suweni Muntini, MT

Dosen Pembimbing II  
Diky Anggoro, M.Si

  
(.....)  
  
(.....)



# **PERANCANGAN SISTEM PENGUKURAN SIMULTAN SECARA OTOMATIS PADA IDCS (*INTERDIGITAL CAPACITANCE SENSOR*) BERBASIS ARDUINO UNTUK MENGUKUR PERMITIVITAS *CRUDE OIL***

**Nama Mahasiswa : Bogiva Mirdyanto**  
**NRP : 1112100050**  
**Departemen : S-1 Fisika**  
**Dosen Pembimbing: Dr.Melania Suweni Muntini, MT**  
**Diky Anggoro, M.Si**

## **ABSTRAK**

Sebagai salah satu jenis *microcontroller board* yang murah dan mudah digunakan, Arduino UNO R3 dapat dibuat menjadi basis sebuah sistem ukur otomatis yang dapat menjalankan pengukuran simultan. Penelitian kali ini mengembangkan sistem ukur simultan dan otomatis untuk mengukur permitivitas *crude oil* menggunakan beragam variasi bahan dan konfigurasi IDCS (*Interdigital Capacitance Sensor*). Penelitian menggunakan 9 buah IDCS dengan tiga konfigurasi berbeda A, B, dan C yang masing-masing dibuat dalam tiga jenis bahan elektroda yakni Mo, Cu, dan PCB. Pengukuran permitivitas dilakukan simultan menggunakan tiga sensor terhadap tiga jenis sample *crude oil* berbeda pada suhu ruang berkisar 26 – 27 derajat Celcius. Hasil pengukuran sistem selanjutnya dibandingkan dengan hasil pengukuran RCL meter yang digunakan sebagai data referensi untuk menentukan sejauh mana *error* pengukuran terjadi. Dari hasil yang didapatkan, diketahui bahwa alat ukur permitivitas berbasis Arduino UNO R3 ini telah memiliki linearitas yang cukup baik, serta dapat dikalibrasi menggunakan nilai *stray capacitance*. Diketahui pula jenis bahan dan konfigurasi terbaik yang menghasilkan nilai *error* pengukuran paling kecil yakni desain konfigurasi C dan bahan Cu.

**Kata kunci:** *crude oil*, simultan, Arduino UNO R3, permitivitas, kalibrasi, *error*

# **DESIGNING ARDUINO BASED AUTOMATIC AND SIMULTANEOUS MEASUREMENT SYSTEM FOR CRUDE OIL PERMITTIVITY TESTING USING IDCS (INTERDIGITAL CAPACITANCE SENSOR)**

**Name : Bogiva Mirdyanto**  
**NRP : 1112100050**  
**Department : Physics Department, Faculty of Mathematics  
and Sciences, Sepuluh Nopember Institute of Technology**  
**Advisor : Dr.Melania Suweni Muntini, MT**  
**Diky Anggoro, M.Si**

## ***ABSTRACT***

As one of the cheapest and easisest microcontroller board to learn available on the market, Arduino had a great potential to be used as a basis for automatic and simultaneous sensor measurement. Using Arduino UNO R3 board, this research is intended to design and study an automatic measuring system able to measure, log, and calculate crude oil permittivity by using more than one IDCS (Interdigital Capacitor Sensor) at a time. The IDC sensor used in this research are varied by both it's configuration, and electrode material. The configurations used are A, B, C and every one of them made available in 3 different materials, Cu, Mo, and PCB. The measurement are taking place in a room temperature (26-27°C) and are used to measure three different crude oil sample. The result shows that Arduino UNO R3 has the linearity required to create a good measurement and is able to be calibrated using its own internal stray capacitance value. This findings led the research into determining that configuration C and electrode material Cu are the best to be used by the system because of its stability and low error rate of just 1.8% on average, compared to data taken by conventional RCL meter, of which is used as a reference value.

***Keyword:*** IDCS, crude oil, simultaneous, automatic, measurement, system, RCL, permittivity

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunianya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul:

### **Perancangan Sistem Pengukuran Simultan Secara Otomatis Pada Idcs (*Interdigital Capacitance Sensor*) Berbasis Arduino Untuk Mengukur Permittivitas *Crude Oil***

Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan program studi Strata-1 Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas akhir ini disusun dengan memanfaatkan teori-teori penunjang yang didapatkan selama proses perkuliahan.

Pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan selama proses penyelesaian tugas akhir ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. Melania Suweni Muntini, MT dan bapak Diky Anggoro, M.Si selaku dosen pembimbing atas segala bantuan, perhatian, arahan dan kesabarannya dalam memberikan bimbingan serta masukan selama proses pengerjaan tugas akhir ini.
2. Kedua orang tua penulis yaitu Dyan Triono Tejo dan Myrna Suksmaningdyah yang senantiasa mendoakan, memberikan dukungan moril maupun materil, memberikan nasehat, memotivasi dan membimbing penulis dengan penuh kesabaran.
3. Bapak Dr. Yono Hadi Pramono, M.Eng, selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah memberikan motivasi dan arahan kepada penulis.
4. Dyah Rahmawati dan Aditya M. Wicaksono, sebagai sahabat yang selalu memotivasi dan membuat penulis bersemangat untuk menyelesaikan penelitian ini dengan sebaik-baiknya.
5. Bapak dan ibu dosen dan karyawan Jurusan Fisika yang telah banyak memberikan ilmu dan membantu proses pengerjaan sehingga berjalan lancar.



6. Ulfa Niswatul K, Mbak Risse dan Mas Haerul serta seluruh anggota tim riset *crude oil* yang telah membantu penulis dalam penyelesaian tugas akhir.
7. Seluruh anggota laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, yang telah membantu menyelesaikan masalah yang penulis shadapi dalam menyelesaikan tugas akhir.
8. Teman-teman angkatan 2012 yang senantiasa mendukung dan memberikan motivasi kepada penulis selama proses penyelesaian tugas akhir.

Semoga tuhan YME membalas segala budi baik yang telah diberikan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini. Penulis berharapp semoga laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi pembaca pada umumnya. Penulis tentunya berharap isi proposal ini tidak meninggalkan celah, berupa kekurangan atau kesalahan. Namun kemungkinan akan selalu tersisa kekurangan yang tidak disadari oleh penulis. Oleh sebab itu, penulis menerima saran dan kritik dapat lebih baik lagi. Akhir kata, penulis sampaikan terima kasih.

Surabaya, 18 Juni 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>TITLE PAGE</b> .....	ii
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	Error! Bookmark not defined.
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	x
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Permittivitas <i>Crude Oil</i> .....	5
2.2 Kapasitansi .....	9
2.3 IDCS .....	11
2.4 Sistem Otomasi.....	13
2.5 Arduino.....	15
<b>BAB III METODOLOGI</b> .....	19
3.1 Pendahuluan .....	19
3.2 Alat dan Bahan .....	19
3.3 Metode Pengerjaan .....	25
3.3.1 Pembuatan Sistem Pengukuran Simultan Otomatis ...	25

3.3.2 Persiapan Pengukuran Nilai Permittivitas Crude Oil ..	29
3.3.3 Proses Pengukuran Nilai Permittivitas Crude Oil.....	29
<b>BAB IV PEMBAHASAN .....</b>	<b>35</b>
4.1 Analisa Linearitas Sistem dan Kalibrasi.....	35
4.2 Analisa Data Pengukuran Simultan.....	38
4.3 Validasi Data Pembandingan dengan Pengukuran RCL .....	48
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>57</b>
5.1 Kesimpulan.....	57
5.2 Saran.....	57
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>59</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>	<b>61</b>
<b>BIODATA PENULIS .....</b>	<b>79</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Polarisasi pada atom dan molekul bahan dielektrik...	7
Gambar 2.2 Penampang kapasitor plat sejajar.....	9
Gambar 2.3 Model Interdigital capacitor sensor .....	11
Gambar 2.4 Blok diagram <i>open-loop control system</i> .....	14
Gambar 2.5 Blok diagram <i>closed-loop control system</i> .....	15
Gambar 2.6 Arduino UNO Rev 3 .....	16
Gambar 3.1 penampang konfigurasi desain IDCS A B C .....	20
Gambar 3.2 RCL merk PHILIPS tipe PM 6303A. ....	21
Gambar 3.3 Arduino UNO R3.....	21
Gambar 3.4 Kabel <i>jumper male to alligator clip</i> .....	22
Gambar 3.5 Kapasitor keramik 10pF .....	23
Gambar 3.6 <i>Beaker glass</i> berisi sample crude oil .....	23
Gambar 3.7 Termometer TM 903 A tipe K11 .....	24
Gambar 3.8 Analogi rangkaian pengukuran kapasitansi .....	25
Gambar 3.9 Diagram alir pembuatan sistem otomasi.....	28
Gambar 3.10 Proses pengukuran dengan sistem otomatis .....	29
Gambar 3.11 Diagram alir pengukuran permitivitas <i>crude oil</i> dengan otomasi sensor IDCS.....	31
Gambar 4.1 Grafik Linearitas Pin A1 .....	36
Gambar 4.2 Grafik Linearitas Pin A3.....	37
Gambar 4.3 Grafik Linearitas Pin A5.....	37
Gambar 4.4 Nilai kalibrasi tiga pin pengukuran dengan kapasitor 10pF.....	38
Gambar 4.4 Permittivitas desain A Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 1 .....	40
Gambar 4.5 Permittivitas desain B Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 2 .....	41
Gambar 4.6 Permittivitas desain A Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 3 .....	41

Gambar 4.7 Permittivitas desain B Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 1 .....	42
Gambar 4.8 Permittivitas desain B Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 2 .....	43
Gambar 4.8 Permittivitas desain B Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 3 .....	44
Gambar 4.9 Permittivitas desain C Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 1 .....	44
Gambar 4.10 Permittivitas desain C Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 2 .....	45
Gambar 4.11 Permittivitas desain C Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 2 .....	46
Gambar 4.12 Perbandingan permittivitas RCL dan sistem IDCS A, pada <i>crude oil</i> 1 .....	49
Gambar 4.13 Perbandingan permittivitas RCL dan sistem IDCS A, pada <i>crude oil</i> 2 .....	49
Gambar 4.14 Perbandingan permittivitas RCL dan sistem IDCS A, pada <i>crude oil</i> 3 .....	50
Gambar 4.15 Perbandingan permittivitas RCL dan sistem IDCS B, pada <i>crude oil</i> 1 .....	51
Gambar 4.16 Perbandingan permittivitas RCL dan sistem IDCS B, pada <i>crude oil</i> 2 .....	51
Gambar 4.17 Perbandingan permittivitas RCL dan sistem IDCS B, pada <i>crude oil</i> 3 .....	52
Gambar 4.18 Perbandingan permittivitas RCL dan sistem IDCS C, pada <i>crude oil</i> 1 .....	53
Gambar 4.19 Perbandingan permittivitas RCL dan sistem IDCS A, pada <i>crude oil</i> 2 .....	53
Gambar 4.20 Perbandingan permittivitas RCL dan sistem IDCS C, pada <i>crude oil</i> 3 .....	54

## DAFTAR LAMPIRAN

Gambar 1. Permittivitas Mo, PCB, Cu A pada crude oil 1 pengulangan 1.....	61
Gambar 2. Permittivitas Mo, PCB, Cu A pada crude oil 1 pengulangan 2.....	61
Gambar 3. Permittivitas Cu pengukuran tunggal crude oil 1 .....	62
Gambar 4. Permittivitas Mo pengukuran tunggal crude oil 1.....	62
Gambar 5. Permittivitas PCB pengukuran tunggal crude oil 1.....	62
Gambar 6. Permittivitas Mo, PCB, Cu B pada crude oil 1 pengulangan 1.....	63
Gambar 7. Permittivitas Mo, PCB, Cu B pada crude oil 1 pengulangan 2.....	63
Gambar 8. Permittivitas Cu B pengukuran tunggal crude oil 1 ....	64
Gambar 9. Permittivitas Mo B pengukuran tunggal crude oil 1 ....	64
Gambar 10. Permittivitas PCB B pengukuran tunggal crude oil 1 .....	64
Gambar 11. Permittivitas Mo, PCB, Cu C pada crude oil 1 pengulangan 1.....	65
Gambar 12. Permittivitas Mo, PCB, Cu C pada crude oil 1 pengulangan 2.....	65
Gambar 13. Permittivitas Cu C pengukuran tunggal crude oil 1 ..	66
Gambar 14. Permittivitas Mo C pengukuran tunggal crude oil 1 .	66
Gambar 15. Permittivitas PCB C pengukuran tunggal crude oil 1 .....	66
Gambar 16. Permittivitas Mo, PCB, Cu A pada crude oil 2 pengulangan 1.....	67
Gambar 16. Permittivitas Mo, PCB, Cu A pada crude oil 2 pengulangan 2.....	67
Gambar 17. Permittivitas Cu A pengukuran tunggal crude oil 2..	68
Gambar 18. Permittivitas Mo A pengukuran tunggal crude oil 2.	68

Gambar 19. Permittivitas PCB A pengukuran tunggal crude oil 2 .....	68
Gambar 20. Permittivitas Mo, PCB, Cu B pada crude oil 2 pengulangan 1.....	69
Gambar 21. Permittivitas Mo, PCB, Cu B pada crude oil 2 pengulangan 2.....	69
Gambar 22. Permittivitas Cu B pengukuran tunggal crude oil 2...	70
Gambar 23. Permittivitas Mo B pengukuran tunggal crude oil 2.	70
Gambar 24. Permittivitas PCB B pengukuran tunggal crude oil 2 .....	70
Gambar 25. Permittivitas Mo, PCB, Cu C pada crude oil 2 pengulangan 1.....	71
Gambar 26. Permittivitas Mo, PCB, Cu C pada crude oil 2 pengulangan 2.....	71
Gambar 27. Permittivitas Cu C pengukuran tunggal crude oil 2...	72
Gambar 28. Permittivitas MoC pengukuran tunggal crude oil 2..	72
Gambar 29. Permittivitas PCB C pengukuran tunggal crude oil 2	72
Gambar 30. Permittivitas Mo, PCB, Cu A pada crude oil 3 pengulangan 1.....	73
Gambar 31. Permittivitas Mo, PCB, Cu A pada crude oil 3 pengulangan 2.....	73
Gambar 32. Permittivitas Cu A pengukuran tunggal crude oil 3..	74
Gambar 33. Permittivitas Mo A pengukuran tunggal crude oil 3.	74
Gambar 34. Permittivitas PCB A pengukuran tunggal crude oil 3 .....	74
Gambar 35. Permittivitas Mo, PCB, Cu B pada crude oil 3 pengulangan 1.....	75
Gambar 36. Permittivitas Mo, PCB, Cu B pada crude oil 3 pengulangan 2.....	75
Gambar 37. Permittivitas Cu pengukuran tunggal crude oil 3 .....	76
Gambar 38. Permittivitas Mo pengukuran tunggal crude oil 3.....	76
Gambar 39. Permittivitas PCB pengukuran tunggal crude oil 3...	76

Gambar 40. Permittivitas Mo, PCB, Cu C pada crude oil 3 pengulangan 1.....	77
Gambar 41. Permittivitas Mo, PCB, Cu C pada crude oil 3 pengulangan 2.....	77
Gambar 3. Permittivitas Cu C pengukuran tunggal crude oil 3....	78
Gambar 5. Permittivitas PCB C pengukuran tunggal crude oil 3..	78
Gambar 4. Permittivitas MoC pengukuran tunggal crude oil 3....	78



## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Sebagai salah satu sumber energi paling penting dalam peradaban manusia modern, *crude oil* yang ditemukan di seluruh dunia tidak memiliki kualitas yang sama. Bahkan dalam satu lokasi pengeboran sekalipun, beberapa sumur yang berdekatan dapat menghasilkan *crude oil* dengan berbagai karakteristik yang berbeda. Hal itu disebabkan lokasi pengeboran maupun kondisi dan material penyusun *crude oil* secara alami memiliki banyak variasi dan perbedaan. Salah satu karakteristik khas adalah sifat kelistrikan *crude oil* yang dapat ditentukan berdasarkan nilai permitivitas bahannya.

Nilai permitivitas *crude oil* merupakan salah satu sifat intrinsik *crude oil* sebagai bahan dielektrik. Secara sederhana, bahan dielektrik ini didefinisikan sebagai suatu material non-konduktor yang akan mengalami pengutuban karena pergeseran muatan-muatan didalamnya akibat pengaruh medan listrik eksternal. Dengan demikian, bahan dielektrik ini mampu melemahkan pengaruh medan listrik pada keping-keping kapasitor lewat medan listrik yang arahnya berlawanan dengan medan listrik luar. (Tipler, Paul. 2001)

Pengukuran nilai permitivitas *crude oil* dapat dilakukan dengan memanfaatkan sensor kapasitif interdigital atau IDCS (*Interdigital Capacitive Sensor*). Dalam berbagai percobaan skala lab, sensor IDCS ini mampu menentukan nilai permitivitas beberapa sample *crude oil* dengan cukup akurat. Meski demikian, hampir seluruh proses pengukuran dan penghitungan nilai permitivitas bahan dilakukan satu persatu secara manual menggunakan perangkat RCL meter untuk menentukan nilai kapasitansi. Teknik pengukuran IDCS berbasis RCL ini telah digunakan pada beberapa penelitian sebelumnya yang juga dilakukan oleh anggota laboratorium instrumentasi Fisika MIPA ITS. Beberapa judul penelitian tersebut seperti *Design Of Inter-*

*Digital Capacitor Sensor For The Measurement Of Permittivity Of Crude Oil* yang dilakukan Sylwia Przywóska, kemudian Pengaruh Konfigurasi IDCS (*Interdigital Capacitor*) Terhadap Permittivitas *Crude Oil* yang dilakukan oleh Ulfa Niswatul K. serta penelitian terakhir oleh Entika Rachmanita yang membuat sensor IDCS dengan berbagai variasi bahan dan konfigurasi elektroda.

Untuk mempersingkat waktu pengukuran, diperlukan sebuah sistem yang mampu mengukur nilai kapasitansi secara otomatis, mencatatnya, membuat grafik dan menyajikan data kontinyu yang dapat diolah menjadi nilai permitivitas. Dengan adanya otomasi tersebut, sistem semacam ini dapat mengukur lebih dari satu sensor IDCS secara simultan dalam satu jeda pengukuran.

Pengembangan sistem pengukuran simultan tersebut, saat ini telah relatif mudah dilakukan dengan berkembangnya teknologi mikrokontroler yang terjangkau dan intuitif. Pengukuran sensor secara simultan dapat dilakukan untuk meningkatkan efisiensi pengukuran, perhitungan serta mengurangi tingkat kesalahan seperti *human error* yang umum ditemukan pada pengukuran manual.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah yang dibahas dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut

1. Bagaimana membuat sistem pengukuran permitivitas dari sensor IDCS secara simultan dan otomatis.
2. Bagaimana melakukan kalibrasi terhadap sistem pengukuran simultan yang telah dibuat
3. Bagaimana menentukan jenis dan konfigurasi IDCS paling baik berdasarkan hasil pengukuran sistem.

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian tugas akhir ini adalah

1. Menciptakan sistem otomasi pengukuran simultan permitivitas *crude oil* dengan sensor IDCS
2. Melakukan kalibrasi terhadap sistem otomasi sensor yang telah dibuat
3. Menentukan konfigurasi sensor dan bahan IDCS terbaik berdasarkan data hasil perhitungan sistem

### 1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian yang dilakukan dapat berjalan dengan baik digunakan beberapa batasan masalah diantaranya:

1. IDCS yang digunakan dikonfigurasi pada beda konfigurasi elektroda pada bahan elektroda Mo, Cu, dan PCB, yang dibuat diatas substrat FR-4 dengan nilai permitivitas relatif 4,75
2. Penelitian dilakukan pada suhu ruang yaitu antara suhu 26-27°C
3. Perubahan konfigurasi IDCS (*Inter Digital Capacitor sensor*) meliputi 3 jenis konfigurasi IDCS dan 3 jenis bahan elektroda berbeda yakni Cu, Mo, dan PCB.
4. Sistem pengukuran simultan yang dibuat menggunakan *microcontroller board* Arduino Uno R3
5. Logging dan pengolahan data dilakukan di software Microsoft Excel 2016 dengan aplikasi logger PLX-DAQ v2.11 untuk *transfer* data dari board Arduino.
6. Pengambilan data dilakukan selama 7.5 menit dengan jeda tiap data 1.5 detik
7. Nilai pengukuran RCL digunakan sebagai nilai pembanding (referensi) yang diasumsikan sebagai nilai yang paling benar

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Setelah penelitian ini dilakukan, diharapkan dapat memberikan berbagai manfaat diantaranya:

1. Memberikan pengetahuan tentang pengukuran permitivitas crude oil secara simultan menggunakan sensor IDCS
2. Memberikan pengetahuan tentang pembuatan sistem pengukuran simultan sensor IDCS untuk menentukan nilai permitivitas suatu bahan
3. Memberikan solusi kalibrasi terhadap sistem pengukuran yang dibuat
4. Memberikan informasi terkait penelitian-penelitian dibidang Fisika Instrumentasi dan Elektronika

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.3 Permittivitas *Crude Oil*

Saat sebuah bahan dikenakan medan listrik, maka akan muncul sebuah hambatan yang menentukan kemampuan bahan tersebut melewatkan fluks listrik. Ukuran dari hambatan ini merupakan rapatnya kerapatan fluks dalam bahan tersebut saat berada dalam medan listrik. Kemampuan tersebut disebut sebagai permitivitas bahan. Permittivitas bahan ini berkaitan erat dengan polarisasi yang terjadi pada bahan tersebut sebagai bahan dielektrik saat diletakan dalam suatu medan listrik. Interaksi antara medan listrik eksternal dengan polarisasi pada atom dan molekul bahan tersebut selanjutnya disebut sebagai *displacement* (D) yang didefinisikan sebagai:

$$\varepsilon = D / E \quad (3)$$

Keterangan :    D = Kerapatan fluks listrik  
                            $\varepsilon$  = konstanta dielektrikum (F/m)  
                           E = Medan Listrik (N/C)

Dengan diketahui bahwa nilai  $D = \frac{Q}{4\pi r^2}$ , maka persamaaan (3) dapat juga ditulis sebagai

$$\frac{Q}{4\pi r^2} = \varepsilon \cdot E \quad (4)$$

Dengan :    Q = Muatan listrik (C)

Bahan dielektrik banyak digunakan sebagai kapasitor dan bahan isolasi karena kemampuannya menyimpan muatan. Dalam hal ini, jumlah muatan tersimpan (Q) berbanding lurus dengan nilai kapasitansi (C) dan tegangan yang diberikan (V), ( $Q = C.V$ ).

Hubungan antara permitivitas dan kapasitansi dapat dijabarkan dengan persamaan berikut :

$$\frac{C.V}{4\pi r^2} = \varepsilon \cdot E \quad (5)$$

Keterangan:    C = Kapasitansi (Farad)  
                       V = tegangan (Volt)

Dari situ, besarnya  $\varepsilon$  dapat diperoleh lewat persamaan:

$$\varepsilon = \frac{C.V}{4\pi r^2.E} \quad (6)$$

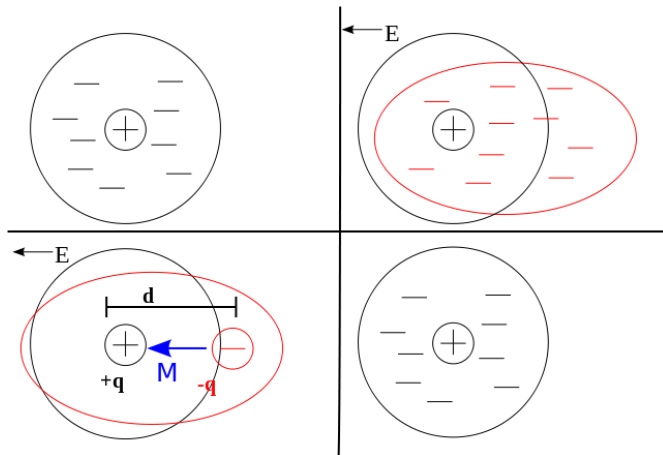
Dengan demikian, permitivitas atau sifat dielektrik dari suatu bahan dielektrik dapat didefinisikan sebagai nilai relatif antara permitivitas absolut bahan  $\varepsilon$ , berbanding nilai permitivitas ruang hampa  $\varepsilon_0$ . (Nyfors & Vainikain, 1989 dalam Ryyanen, 1995), dan dirumuskan:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (7)$$

Keterangan:     $\varepsilon$  = permitivitas absolut bahan (F/m)  
                        $\varepsilon_0$  = permitivitas ruang hampa ( $8,854 \times 10^{-12}$  F/m)  
                        $\varepsilon_r$  = permitivitas relative bahan

Permitivitas relatif merupakan kemampuan sebuah bahan bereaksi didalam medan listrik. Hal ini utamanya berlaku pada bahan dielektrik dimana bahan tersebut mampu mengalami polariasi saat terkena medan listrik. Meski mampu bereaksi di dalam medan listrik, bahan dielektrik berbeda dengan bahan konduktor. Konduktor memiliki kemampuan mentransmisikan arus listrik akibat banyaknya muatan bebas yang dapat bergerak. Hal itu tidak dapat terjadi pada bahan dielektrik.

Bahan dielektrik memiliki sifat mirip isolator, dimana bahan jenis ini tidak dapat mengalirkan listrik secara langsung. Perbedaan utama keduanya terdapat pada kemampuan bahan dielektrik untuk mengalami polarisasi. Saat terkena medan listrik, atom dan molekul pada bahan dielektrik akan bergeser dan mengalami pengutuban. Pengutuban ini membuat muatan positif bahan berkumpul mendekati medan sementara muatan negatif berlaku sebaliknya. Dengan demikian, tercipta polarisasi yang menyebabkan penumpukan muatan listrik pada bahan dielektrik akibat *gap* yang muncul pada bahan saat tiap molekul bergeser ke masing-masing kutub.



Gambar 2.1 Polarisasi pada atom dan molekul bahan dielektrik

Salah satu contoh bahan dielektrik misalnya *crude oil* atau minyak mentah. *Crude Oil* memiliki kandungan rantai hidrokarbon mencapai 50 – 98%, dimana hidrokarbon memiliki sifat dielektrik yang baik dan stabil. Sifat *crude oil* yang *viscous* juga berperan meningkatkan kemampuan dielektriknya. Sehingga bahan-bahan turunan *crude oil* dengan kadar hidrokarbon tinggi banyak

digunakan sebagai material insulator pada kapasitor, dan peralatan listrik tegangan tinggi untuk mencegah *arcing* dan korsleting. (J.C. Balsbaugh et al, 1942)

Komposisi senyawa hidrokarbon pada *crude oil* rata-rata terdiri dari 84-87% Karbon, 11-14% Hidrogen, 0-3% Sulfur, 1% Nitrogen dan 0-2% Oksigen. Sementara bahan-bahan non-hidrokarbon meliputi sulfur, oksigen, nitrogen, dan logam. Hampir seluruhnya merupakan zat yang tidak dikehendaki kecuali oksigen yang hampir tidak mempengaruhi kualitas *crude oil*. Zat sulfur bersifat korosif dan berbau menyengat. Nitrogen berpotensi merusak warna dan bau minyak olahan. Sementara kandungan logam seperti Vanadium dan nikel bersifat racun pada proses katalis dan berbahaya jika terbawa kedalam hasil olahan minyak. Sehingga teknik pemurnian khusus selalu diterapkan untuk membersihkan bahan-bahan pengotor ini sebelum *crude oil* diolah. (Alan Wolfe et al., 1987)

Sifat permittivitas sebuah bahan juga dapat dijabarkan melalui bilangan kompleks dengan komponen nyata dan imajiner (Risman, 1991 dalam Ryynanen, 1995), sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \varepsilon' - j \varepsilon'' \\ &= |\varepsilon| e^{-j \delta} \end{aligned} \quad (8)$$

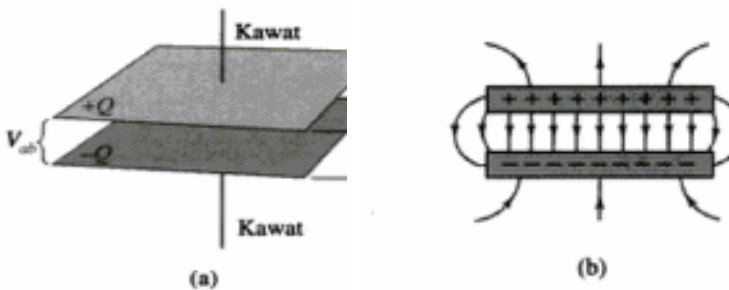
Dengan  $\varepsilon'$  adalah tetapan dielektrik (*dielectric constant*),  $\varepsilon''$  sebagai faktor dielektrik (*dielectric loss factor*),  $J$  sebagai unit imajiner, dan  $\delta$  adalah sudut hilang dielektrik (*dielectric loss tangent*). Komponen nyata dari persamaan permittivitas diatas disebut sebagai tetapan dielektrik yang mewakili kemampuan bahan menyimpan energi listrik. Sedangkan komponen imajiner menyatakan kemampuan penghamburan energi dan mengkonversinya kedalam panas. Komponen ini nilainya selalu positif dan lebih kecil dari nilai konstanta dielektrik, sehingga disebut juga sebagai faktor *loss* dielektrik.



## 2.2 Kapasitansi

Kapasitansi merupakan kemampuan sebuah bahan untuk menyimpan muatan listrik. Secara fisis, kapasitansi dapat didefinisikan sebagai banyaknya elektron yang mampu disimpan oleh suatu bahan dibawah tekanan beda potensial atau tegangan/voltase listrik. Kemampuan menyimpan muatan ini menjadi dasar dari kapasitor.

Sebagai komponen listrik, kapasitor mampu menyimpan energi listrik dalam bentuk medan elektrostatis yang tertambat dalam sebuah medium dielektrik diantara dua buah elektroda. Medium dielektrik ini merupakan isolator yang berfungsi menyimpan muatan listrik, sekaligus mencegah listrik untuk mengalir dan keluar dari kapasitor. Contoh kapasitor paling sederhana dapat digambarkan sebagai dua pelat sejajar dengan sebuah bahan dielektrik diantara keduanya seperti gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.2 Penampang kapasitor plat sejajar.

Gambar (a) susunan elektroda pelat sejajar yang dipisahkan ruang kosong yang menggunakan udara sebagai bahan dielektrik.

Gambar (b) merupakan garis-garis medan listrik yang timbul saat terjadi polarisasi.

Dalam konstruksi kapasitor tanpa sisipan bahan dielektrik khusus, udara berperan sebagai bahan dielektrik dengan nilai

permitivitas  $\epsilon_0$ . Namun, saat bahan dielektrik khusus digunakan antara dua plat, maka nilai kapasitansi dapat dihitung menggunakan:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r A}{d} = \frac{\epsilon A}{d} \quad (1)$$

Dengan  $\epsilon_0$  adalah permitivitas udara vakum ( $8.85 \times 10^{-12}$  F/m).  $\epsilon_r$  adalah konstanta dielektrik absolut material dan  $\epsilon$  adalah permitivitas relatif dari bahan dielektrik (F/m). Sehingga nilai kapasitansi dapat dihitung sebagai

$$C = \epsilon_r C_0 \quad (2)$$

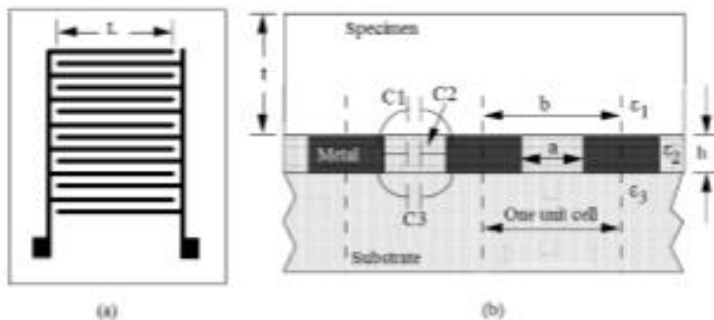
Dengan penambahan variabel  $\epsilon_r$ , kapasitansi kapastior meningkat dari  $C_0$  sebesar  $\epsilon_r$  kali menjadi  $\epsilon_r C_0$ . Hal itu disebabkan terjadinya polarisasi pada kedua plat kapasitor. Polarisasi ini terbentuk akibat pergeseran muatan-muatan positif dan negatif pada molekul dan atom-atom akibat pengaruh medan listrik pada kapasitor. Dengan demikian, masing-masing muatan akan berkumpul dan tersusun sesuai kutubnya membentuk dipol-dipol yang saling terpisah. Pengutuban ini selanjutnya akan terus berlangsung sampai mencapai kesetimbangan terhadap medan listrik yang mempengaruhinya. Karena terbentuk akibat pengaruh medan listrik, dipol-dipol tersebut tidak bersifat permanen. Sehingga saat medan listrik hilang, muatan yang terkutub tersebut akan kembali ke posisi awalnya yang saling berhimpitan. (Freedman, 2002)

Proses polarisasi terjadi pada atom sebagai satuan dasar materi yang terdiri dari muatan inti positif yang dikelilingi awan elektron negatif. Saat atom dikenai pengaruh medan listrik yang

arahnya bergerak dari muatan positif ke negatif, maka masing masing inti dan awan elektron atom akan bergerak saling menjauhi. Pergerakan ini sesuai dengan arah medan listrik dimana inti positif akan bergerak ke arah medan negatif dan awan elektron negatif bergerak menuju medan listrik yang berasal dari muatan positif. Posisi baru yang saling berkelompok ini yang disebut kondisi terpolarisasi.

## 2.3 IDCS

Pertama kali ditemukan oleh Vayres dan Hanna pada tahun 1980 untuk mengevaluasi sensor kapasitif dengan lapisan terbatas, *Inter Digital Capacitor Sensor* (IDCS) dibuat sebagai sensor berbasis kapasitor dengan elektroda yang tersusun secara periodik. Dalam penelitian, IDCS banyak berperan dalam pengukuran tingkat kelarutan material dan mengetahui jumlah campuran bahan dalam suatu larutan. Salah satu yang paling umum adalah pengukuran kehomogenan dan jumlah kandungan gula dalam larutan. Model IDC kembali dikembangkan di tahun 1996 oleh Gevordian et al. Adapun model IDC yang digunakan adalah sebagai berikut : (Jun Wan Kim, 2002).



Gambar 2.3 Model Interdigital capacitor sensor

Meski dikembangkan kedalam model baru, prinsip kerja IDCS tetap dibuat berdasarkan prinsip kerja kapasitor keping sejajar (plat paralel). Dalam desain IDCS, seluruh rangkaian elektroda dibuat sangat tipis hingga menyerupai lapisan. Hal ini ditujukan untuk memudahkan penghitungan dengan membuat nilai ketebalan elektroda bisa diabaikan. Rangkaian elektroda dipasang pada base plate berbahan isolator yang sekaligus berfungsi sebagai substrat. Berdasarkan berbagai literatur dan teori, ketebalan substrat selanjutnya juga diabaikan dalam perhitungan. (Yasutomo, 2015)

Dengan memanfaatkan sifat kapasitor plat paralel, maka nilai permitivitas bahan terukur dengan IDCS berbanding lurus dengan nilai kapasitansinya, sehingga bisa dicari menggunakan persamaan untuk mengukur kapasitansi. Pada IDCS, kapasitansi dapat dimunculkan dengan memberikan potensial berbeda pada kedua elektrode yakni V1 dan V2. Beda potensial tersebut akan menimbulkan polarisasi yang menghasilkan medan listrik yang menembus lapisan dielektrik dan substrat antar elektroda. Dengan demikian, nilai permitivitas bahan substrat perlu diperhitungkan untuk mengetahui besarnya kapasitansi yang terjadi.

Mengingat permitivitas merupakan kemampuan suatu bahan untuk melewati fluks dalam medan listrik, maka nilai kapasitansi tidak hanya bergantung pada permitivitas bahan dan substrat semata. Lebar dan jarak antara dua lapisan elektroda juga memiliki pengaruh pada nilai kapasitansi yang muncul. Dengan mendesain IDCS menggunakan papan PCB (*Printed Circuit Board*), kapasitansi IDCS ditentukan dengan menjumlahkan kapasitansi *unit cell* dua dimensi. Sehingga total kapasitansi dari IDCS adalah:

$$C = C_{uc}(N-1)L \quad (9)$$

Keterangan:

$C$  = Kapasitansi total IDCS (Farad)

$C_{uc}$  = Kapasitansi *unit cell* (Farad/m)

$N$  = Jumlah *unit cell*

$L$  = Panjang elektrode (m)

Berdasarkan gambar 2.3 diketahui bahwa:

$$C_{uc} = C_1 + C_2 + C_3 \quad (10)$$

C3 adalah kapasitor dengan bahan dielektrik berupa substrat, sedangkan C1 dan C2 merupakan variabel kapasitansi bahan yang kontak pada lapisan elektroda luar dari IDCs, sehingga merupakan variabel nilai kapasitansi dari bahan yang sedang dilakukan pengukuran;

$$C_1 + C_3 = \epsilon_0 \left( \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2}{2} \right) \frac{K(\sqrt{1-k^2})}{K(\sqrt{k^2})} \quad (11)$$

$$C_2 = \epsilon_0 \epsilon_2 \frac{h}{a} \quad (12)$$

$$k = \frac{a}{b} \quad (13)$$

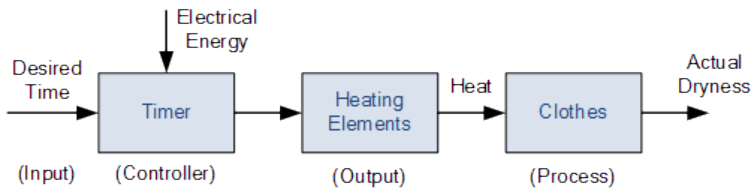
Berdasarkan persamaan tersebut,  $\epsilon_0$  adalah permitivitas diruang vakum ( $8,854 \times 10^{-12}$  F/m).  $\epsilon_1$  sebagai permitivitas material yang akan diuji,  $\epsilon_2$  merupakan permitivitas material diantara elektrode, dan  $\epsilon_3$  adalah permitivitas relatif dari substrat. Sedangkan  $K(x)$  adalah *complete elliptic integral* jenis pertama yang nilainya dipengaruhi konfigurasi lebar serta panjang dan tebal celah dari desain elektroda IDCs yang digunakan (Angkawisittpan, 2012).

## 2.4 Sistem Otomasi

Diambil dari kata dasar *automaton*, yang berarti mesin yang dapat beroperasi sendiri, automasi merupakan istilah yang menjelaskan kemampuan suatu mesin atau alat-alat untuk beroperasi mandiri dengan meminimalisir intervensi dari manusia. Sistem otomasi bergantung pada suatu sistem kontrol yang telah diatur sedemikian rupa untuk melakukan suatu proses dengan parameter atau batas-batas dan tujuan yang telah ditetapkan. Demikian sehingga automasi dapat meringankan, mempercepat

serta meminimalisir kesalahan yang terjadi pada suatu proses berulang yang membutuhkan kecepatan dan ketelitian. (Jeremy Rifkin, 1995)

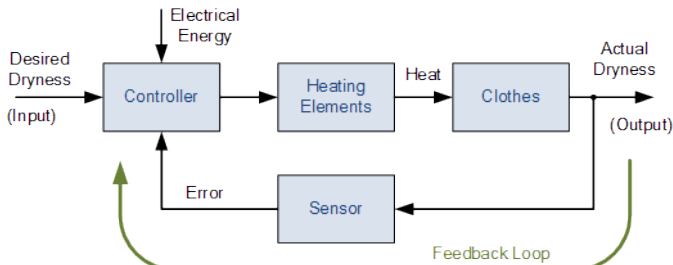
Dengan sifatnya tersebut, sebuah sistem otomasi tidak lepas dari penggunaan sistem kontrol. Adanya sistem kontrol memberikan keleluasaan bagi sebuah sistem otomasi untuk menjalankan berbagai proses yang membutuhkan keleluasaan, spontanitas dan aksi yang tidak bergantung lagi pada input dari pengguna. Sistem kontrol memberikan kendali pada pengguna alat untuk memberikan data masukan dan keluaran yang diinginkan pada sistem, sehingga proses yang dijalankan dapat berlangsung dengan efektif dan tepat sasaran. Secara teknis, sebuah sistem kontrol otomasi terbagi kedalam dua jenis, yakni *open-loop* dan *closed-loop*, dengan masing-masing jenis dapat dibuat berbasis perangkat mekanik atau elektronik. (Raja Parasuraman, 2000)



Gambar 2.4 Blok diagram *open-loop control system*

Sistem kontrol open-loop atau terbuka, merupakan sistem kontrol dimana sistem tidak lagi memantau hasil data keluaran dari proses yang dihasilkan. Sehingga, keseluruhan otomasi hanya bekerja sesuai dengan set parameter yang telah ditentukan sebelum proses dimulai. Sebuah contoh sistem terbuka pada gambar 2.4 menunjukkan rangkaian proses dalam sebuah sistem kontrol terbuka pengering pakaian yang memanfaatkan elemen pemanas. Seorang pengguna akan menentukan berapa lama pengering harus menyala untuk mengeringkan pakaian menggunakan *timer*. Selanjutnya, elemen pemanas akan bekerja mengeringkan pakaian sepanjang

waktu yang ditentukan *timer*. Saat durasi *timer* habis, maka elemen pemanas akan mati, terlepas dari pakaiannya benar-benar telah kering atau masih basah. Keluaran inilah yang tidak diperhitungkan oleh sistem terbuka.



Gambar 2.5 Blok diagram *closed-loop control system*

Sementara pada sistem tertutup seperti yang digambarkan pada gambar 2.5, terdapat elemen sensor yang menilai keluaran (basah keringnya pakaian) setelah proses berhasil dijalankan. Pada sistem kontrol ini, pengguna tidak memasukan data lamanya waktu yang diinginkan, melainkan tingkat kekeringan yang diharapkan. Dengan demikian, saat proses telah selesai namun tingkat kekeringan belum tercapai, sensor akan memberikan pembacaan *error* dan me-*restart* proses hingga mendapatkan hasil pengeringan yang sesuai dengan data masukan (*input*). Proses ini dikenal sebagai *feedback input* yang disebabkan oleh tidak tercapainya *set target* yang ditetapkan sebagai keluaran. Hal tersebut membuat sistem kontrol menilai bahwa kerja sistem belum selesai dan kembali memberikan input untuk meneruskan atau mengulang kembali proses yang dilakukan, sampai *set target* tercapai.

## 2.5 Arduino

Arduino merupakan nama sebuah *platform* elektronik *open-source* yang berbentuk rangkaian mikrokontroler yang sudah terangkai dalam bentuk kit dengan konektor, pin input-output, koneksi USB dan *socket* power. Mikrokontroler yang digunakan

oleh sebagian besar produk Arduino merupakan mikrokontroler atmel (ATMega) 8 bit, 16 bit, dan 32 bit dari AVR. Untuk kebutuhan daya, hampir seluruh papan sirkuit Arduino (*board*) dilengkapi konektor daya 5 volt. Sementara pengaturan frekuensi dan *timing* dari tiap *board* menggunakan *crystal oscillator* 16 MHz, atau *ceramic resonator*.

Dibuat sebagai komponen mikrokontroler yang *plug-and-play* (dapat langsung digunakan), tiap *board* Arduino memiliki bootloader yang telah diprogram di *chip flash memory*. Bootloader ini bertugas menerjemahkan dan menjalankan kode instruksi yang telah ditulis dan di upload kedalam mikrokontroler oleh pengguna melalui koneksi data USB. Kelebihan ini yang membuat Arduino sangat mudah digunakan karena instruksi yang ditulis dalam bahasa C#, C, C++ , atau bahasa programming Arduino dapat langsung di compile, upload, dan dijalankan tanpa perlu merancang lagi *interface* antara instruksi dasar programming dan mesin.

Beberapa seri Arduino yang populer seperti Arduino UNO dan Arduino MEGA memiliki spesifikasi berbeda.



Gambar 2.6 Arduino UNO Rev 3



Arduino UNO, merupakan seri *board* Arduino dengan spesifikasi paling sederhana. Seri UNO saat ini dibuat sebagai kit berbasis mikrokontroler ATmega328P. Dengan demikian, seri UNO memiliki kapasitas komputasi sebesar 8-bit. Daya pada *board* jenis ini disuplai oleh pin konektor daya 5 Volt. Sementara komponen timing menggunakan *crystal oscillator* dengan frekuensi 16 MHz. Seri UNO memiliki 14 Pin Input/Output (I/O) digital. 6 Pin diantaranya merupakan pin PWM (*pulse-width modulation*) dengan 6 pin lainnya menerima input analog.

Pulse width modulation adalah istilah yang digunakan untuk menyatakan suatu proses yang mengatur sinyal analog menggunakan sinyal digital berbasis pulsa. Teori ini berdasarkan sifat sinyal analog yang tidak selalu beraturan dan seringkali memiliki variasi. Dengan mengontrol sinyal analog ini menggunakan digital, dapat dihasilkan pola sinyal beraturan on-off dengan modulasi yang dapat diatur lewat *counter* beresolusi tinggi yang dapat memodulasi sinyal analog kedalam *duty cycle*.

Contohnya pada sebuah input sinyal arus DC. Saat dimodulasi menggunakan PWM, sinyal ini dapat diterjemahkan kedalam *duty cycle* yang mengatur on dan off time. Saat *on-time*, maka arus DC akan disalurkan dan sinyal mencapai titik maksimumnya. Sementara pada *off-time*, diberlakukan *cut-off* pada input sinyal DC dan sinyal digital mencapai minimum. (Michael Barr, 2001)

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***

## **BAB III METODOLOGI**

### **3.1 Pendahuluan**

Sebagai sensor kapasitif, IDCS digunakan untuk mengukur nilai kapasitansi suatu bahan dielektrik. Dalam eksperimen kali ini, bahan tersebut adalah udara dan *crude oil*. Secara umum, pengukuran dilakukan menggunakan RCL meter yang menghasilkan pembacaan nilai kapasitansi bahan terukur. Dari nilai kapasitansi yang telah didapatkan, selanjutnya pengamat melakukan perhitungan manual menggunakan seperangkat rumus untuk mendapatkan nilai permitivitas terhitung.

Untuk mempercepat proses tersebut, dikembangkan sebuah sistem pengukuran simultan otomatis yang dapat langsung mengukur, menyimpan, dan mengolah data masukan dari sensor IDCS menjadi nilai permitivitas. Sistem sensor ini dikembangkan menggunakan basis mikrokontroler Arduino Uno R3. Fokus penelitian ini mencakup pembuatan, peneraan alat, penentuan nilai kalibrasi, dan ujicoba nilai hasil pengukuran dengan membandingkan nilai permitivitas hasil pengukuran sistem dengan nilai permitivitas dari RCL. Dengan demikian, akan didapatkan hasil penelitian berupa cara pembuatan alat, kalibrasi, serta analisi hasil data keluaran dan perhitungan serta *error* relatif terhadap alat ukur yang telah terstandar seperti RCL.

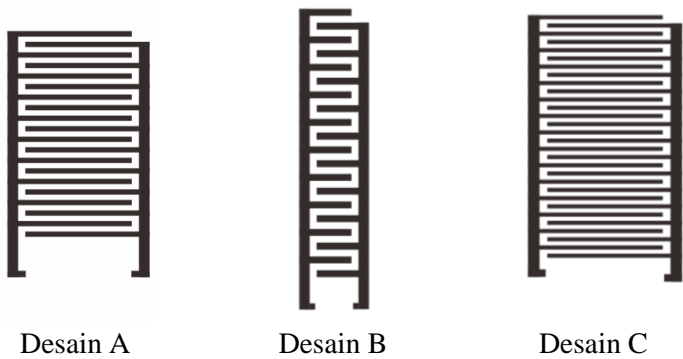
### **3.2 Alat dan Bahan**

Eksperimen pembuatan sistem otomasi pengukuran permitivitas bahan *crude oil* dengan sensor IDCS ini memerlukan alat dan bahan sebagai berikut.

#### **a. IDCS**

Sensor IDCS adalah sensor pengukur kapasitansi yang akan digunakan dalam proses pengukuran.

Penelitian ini menggunakan 9 buah IDCS yang terdiri dari 3 macam desain konfigurasi dan masing-masing desain memiliki tiga macam bahan elektroda yakni Mo, PCB, dan CU.



Gambar 3.1 penampang konfigurasi desain IDCS A B C

Parameter	Karakteristik Desain Sensor		
	A	B	C
Lebar elektroda (w)	0.75 mm	1 mm	0.5 mm
Tebal elektroda (t)	1 $\mu$ m	1 $\mu$ m	1 $\mu$ m
Jarak antar elektroda	0.75 mm	1 mm	0.5 mm
Panjang elektroda (L)	15 mm	5 mm	15 mm
Panjang satu <i>unit cell</i> ( $\lambda$ )	3 mm	4 mm	2 mm
Jumlah elektroda (n)	20 buah	20 buah	30 buah
Jumlah <i>unit cell</i> (N)	10 buah	10 buah	15 buah

**b. RCL meter**

RCL meter adalah perangkat penelitian yang dapat mengukur nilai resistansi (R), kapasitansi (C), dan Induksi (L) dari sebuah rangkaian elektronik secara otomatis. Perangkat ini akan digunakan untuk mendapatkan data pengukuran manual sebagai data pembanding data hasil otomasi. Penelitian ini menggunakan RCL merk PHILIPS tipe PM 6303A.



Gambar 3.2 RCL merk PHILIPS tipe PM 6303A.

**c. Arduino UNO R3**

Kit elektronik yang merupakan papan sirkuit berisi mikrokontroler ATmega328P dan perangkat pendukungnya seperti pin I/O, soket power, memori flash, dan crystal oscillator. Berfungsi sebagai komponen utama kontroler sistem otomasi pengukuran dalam eksperimen.



Gambar 3.3 Arduino UNO R3

**d. Laptop dan Software**

Digunakan sebagai platform koding, upload, dan kontrol komponen Arduino, sekaligus untuk mengolah data keluaran yang dihasilkan. Penelitian ini menggunakan software *open source* Arduino sebagai IDE (*integrated development environment*) pemrograman sensor, Microsoft Excel 2016 sebagai program pengolah data, dan program macro PLX-DAQ v2.11 sebagai program *logger* yang mentransmisikan data secara *realtime* ke Microsoft Excel.

**e. Kabel-kabel**

Kabel-kabel digunakan untuk menyambungkan seluruh komponen rangkaian seperti IDCS, RCL Meter, dan komponen Arduino. Dibuat 6 utas kabel khusus sebagai probe dengan ujung pin *male*, dan ujung lainnya penjepit buaya.



Gambar 3.4 Kabel *jumper male to alligator clip*

**f. Kapasitor**

Kapasitor digunakan untuk mengkalibrasi sistem yang sedang dibuat. Penelitian ini menggunakan tiga kapasitor keramik 10 pF



Gambar 3.5 Kapasitor keramik 10pF

**g. Bejana Ukur/*Beaker Glass***

Penelitian ini menggunakan wadah ukur crude oil berupa tiga buah beaker glass kimia berukuran 500ml berbahan kaca. Masing-masing digunakan untuk menampung satu jenis sample *crude oil* sebanyak 300ml



Gambar 3.6 *Beaker glass* berisi sample crude oil

#### h. Sample Crude Oil

*Sample* bahan uji minyak mentah (*crude oil*) terdiri dari tiga jenis minyak berbeda yang diambil dari tiga sumur terpisah milik PT. Pertamina Persero kota Cepu. Fasilitas ini disebut sebagai TBR yang memiliki 3 sumur bernama TBR 1, TBR 2, dan TBR 3. Masing-masing TBR memiliki diameter yang sama dan kedalaman yang berbeda-beda. TBR 1 memiliki kedalaman 1500 ft, TBR 2 memiliki kedalaman 1500-2000 ft dan sumur yang paling dalam adalah TBR 3 dengan kedalaman diatas 2000 ft. *Crude oil* pada TBR1 diberi nama sampel *crude oil 1*, *Crude oil* pada TBR2 diberi nama sampel *crude oil 2*, *Crude oil* pada TBR3 diberi nama sampel *crude oil 3*.

#### i. Termometer

Pengukuran memerlukan kondisi suhu yang stabil sehingga termometer diperlukan untuk melakukan pengukuran suhu saat pengukuran kapasitansi *crude oil* dilakukan. Penelitian ini menggunakan Termometer TM 903 A tipe K11



Gambar 3.7 Termometer TM 903 A tipe K11

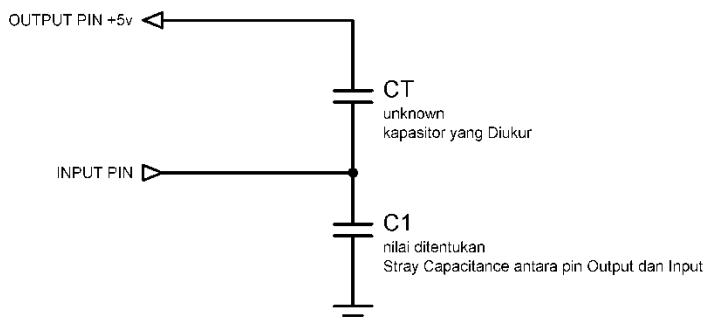


### 3.3 Metode Pengerjaan

#### 3.3.1 Pembuatan Sistem Pengukuran Simultan Otomatis

Penelitian dimulai dengan pembuatan sistem pengukuran kapasitansi simultan otomatis menggunakan Arduino. Proses dilakukan dengan membuat program pengukur kapasitansi dari nilai tegangan terbaca pada pin input analog. Pada Arduino UNO R3, terdapat 6 pin analog yakni pin A0 hingga A5. Namun, untuk meminimalisir *error* pengukuran karena *stray capacitance* pada pin yang berdekatan, hanya tiga pin analog yang digunakan dengan selisih satu pin kosong, yakni pin A1, A3 dan A5 sebagai *input*. Sementara pin *output* penyedia tegangan masing-masing menggunakan pin *digital* nomor 3, 9 dan 11 yang menghasilkan sinyal tegangan 5 volt, pada frekuensi 490 Hz.

Pengukuran menggunakan sistem dilakukan dengan menghubungkan langsung tiap pin pada kapasitor. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan sirkuit kapasitif *internal* Arduino dengan analogi rangkaian berikut.



Gambar 3.8 Analogi rangkaian pengukuran kapasitansi

Pengukuran dimulai dengan membiarkan semua pin dan kapasitor dalam kondisi *discharged*. Saat pin output dinaikkan (set, *HIGH*) ke tegangan 5 volt, arus akan mengalir menuju kapasitor yang diukur (CT) dan tegangan keluaran akan terbaca di pin Input. Dengan demikian, persamaan yang dibutuhkan untuk menterjemahkan nilai input kedalam kapasitansi adalah

$$V_{in} = \frac{V_{out} \times CT}{C_1 + CT} \quad (3.1)$$

$$C_1 = \frac{CT \times (V_{out} - V_{in})}{V_{in}} \quad (3.2)$$

$$CT = \frac{V_{in} \times C_1}{V_{out} - V_{in}} \quad (3.3)$$

Dalam persamaan 3.3,  $V_{out}$  merupakan nilai tegangan *charging* yang dikeluarkan pin *output* sebesar 5 volt. Sementara  $V_{in}$  merupakan tegangan keluaran dari kapasitor yang nilainya terbaca di pin input. Keduanya dikonversi oleh ADC kedalam bentuk digital 8 bit yang rentang nilainya berkisar antara 0 – 1023, mewakili tegangan 0 – 5 volt. Sehingga, nilai  $V_{out}$  pada persamaan adalah konstan 1023, dan nilai  $V_{in}$  berkisar antara nol hingga 1023.

$C_1$  merupakan faktor pengali yang besarnya merupakan nilai *stray capacitance* internal pada mikrokontroller Arduino UNO R3. Secara *default*, nilai *stray capacitance* ini mendekati 30 pF. Namun, pemasangan kabel penghubung dan sensor menimbulkan kapasitansi tambahan yang tidak diinginkan. Karena itulah, dalam sistem ini, faktor pengali ini yang akan dicari nilainya dan dijadikan *setting* untuk melakukan proses kalibrasi. Sehingga proses pengujian dan kalibrasi sistem dilakukan sesuai langkah berikut

- a. Pembuatan program pengukuran kapasitansi berdasarkan persamaan 3.3
- b. Persiapan alat dengan memasang kabel dan menyiapkan kapasitor 10pF sebagai CT
- c. Men-set nilai perkiraan C1 pada angka 30pF
- d. Melakukan pengukuran pada tiap pasangan pin *input* dan *output*.
- e. Penentuan nilai kalibrasi berdasarkan hasil pembacaan yang didapat.

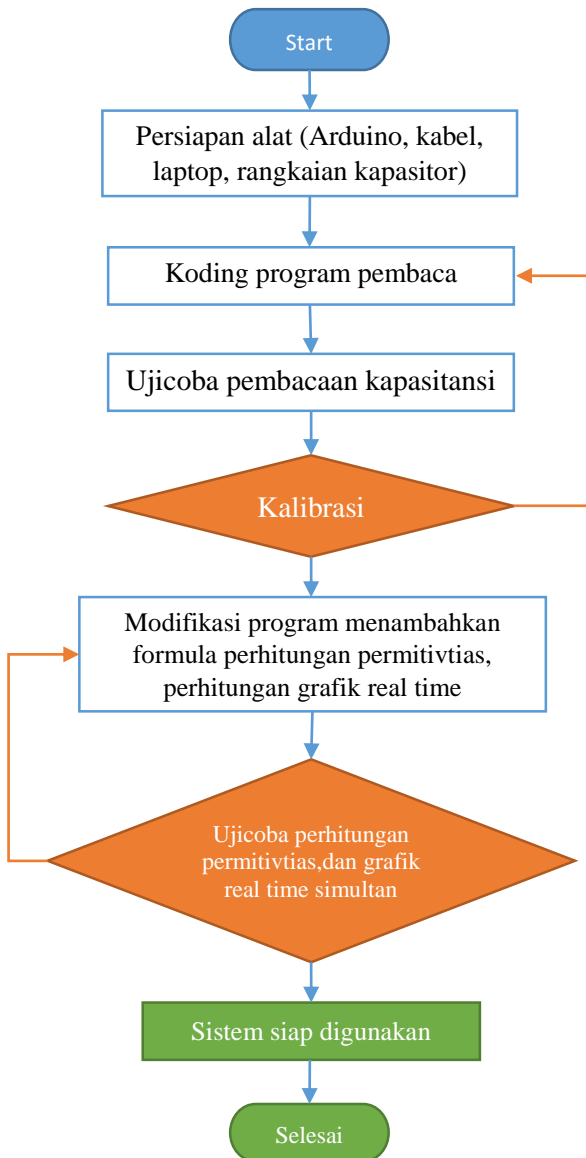
Menggunakan persamaan 3.3, contoh perhitungan nilai faktor pengali C1 menggunakan kapasitor yang telah diketahui nilainya sebesar 10.1pF menggunakan RCL meter dan nilai ADC terbaca sebesar 263 adalah sebagai berikut:

$$C1 = \frac{(V_{out} - V_{in}) * CT}{V_{in}}$$

$$C1 = \frac{(1023 - 263) * 10.1}{263}$$

$$C1 = 29.18$$

Dengan mengganti nilai C1 sebesar 29.18 kedalam program, maka hasil pengukuran sistem akan sama dengan pengukuran RCL, sehingga kemudian sistem telah terkalibrasi. Selanjutnya, sistem siap digunakan. Untuk diagram alir proses pembuatan alat dapat dilihat pada gambar 3.9

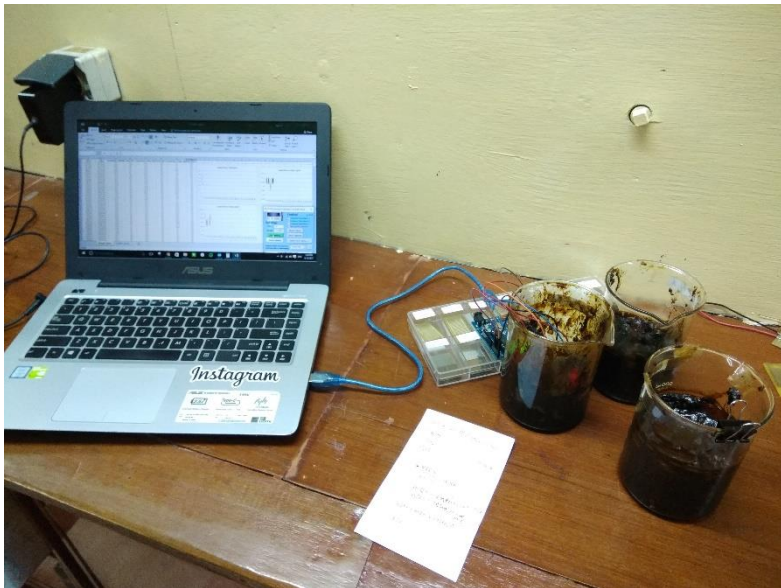


Gambar 3.9 Diagram alir pembuatan sistem otomasi

### 3.3.2 Persiapan Pengukuran Nilai Permittivitas Crude Oil

Proses pengukuran simultan nilai permittivitas *crude oil* dimulai dengan merancang *worksheet* pada program Microsoft Excel 2016 untuk melakukan logging dan tabulasi data yang terbaca oleh tiap pin A1, A3 dan A5 secara otomatis. Hal ini dilakukan dengan mengoneksikan Arduino UNO R3 dengan Microsoft Excel 2016 menggunakan program macro PLX-DAQ v2.11

### 3.3.3 Proses Pengukuran Nilai Permittivitas Crude Oil

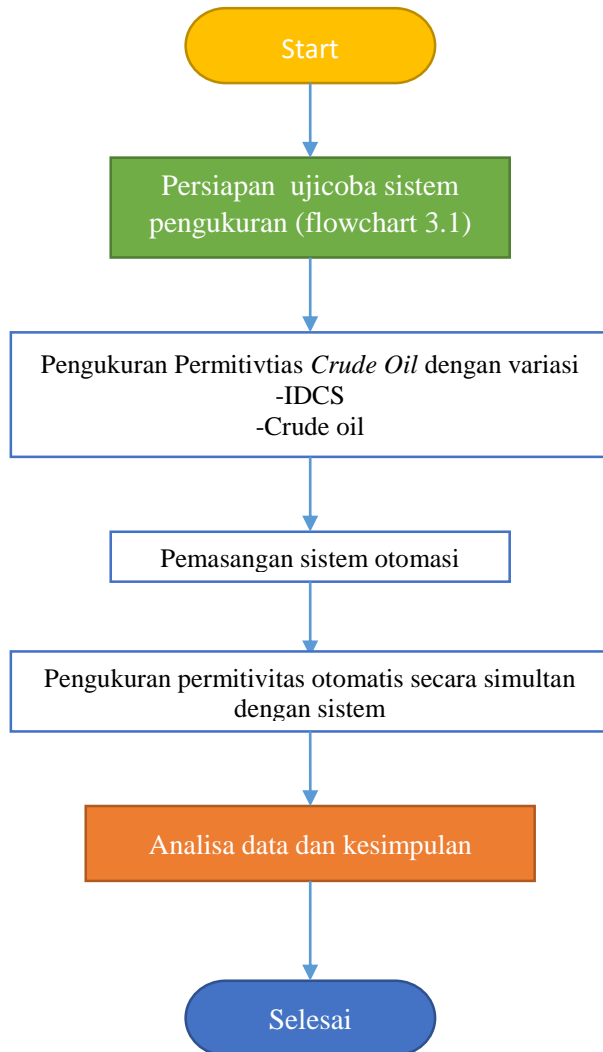


Gambar 3.10 Proses pengukuran dengan sistem otomatis

Setelah program siap menerima data, maka dilakukan pengukuran langsung pada semua sample *crude oil*. Dengan tahapan berikut.

1. Menyiapkan sample *crude oil* sebanyak 300ml kedalam *beaker glass*.
2. Memasangkan kabel *pencapit buaya* dari pin input output ke IDCS
3. Melakukan pengukuran suhu *crude oil* menggunakan termometer
4. Memasukkan IDCS yang sudah terpasang di kabel ke dalam *crude oil*.
5. *Start* pengukuran, dilakukan secara simultan terhadap tiga sensor dengan satu desain yang sama dan bahan berbeda. Pengukuran dilakukan selama 7,5 menit, yakni untuk mendapatkan 300 baris data dengan jeda tiap data selama 1.5 detik
6. Mengukur nilai masing-masing IDCS sendiri-sendiri menggunakan sistem, dan RCL untuk mendapatkan pembandingan.
7. Men-save data kapasitansi, permitivitas dan grafik yang muncul di Microsoft Excel 2016 untuk dilakukan analisa.
8. Mengulang langkah 4 – 7 terhadap semua jenis sensor dan *crude oil*.

Untuk diagram alir proses pengukuran crude oil, lihat gambar 3.2



Gambar 3.11 Diagram alir pengukuran permitivitas *crude oil* dengan otomasi sensor IDCS

### 3.4 Perhitungan Permittivitas IDCs

Dengan memanfaatkan persamaan 9 sampai 13, permitivitas sebuah bahan yang diukur menggunakan IDCs dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

IDCS dengan elektroda (a) 0.75mm, lebar gap(b) 0.75mm,  $\epsilon_3 = 4,75$  F/m, panjang elektroda 15mm, ketebalan elektroda (h) 1  $\mu\text{m}$  dan jumlah unit sel 19 buah mengukur nilai kapasitansi udara sebesar 9.2 pF.

Maka;

$$C_{UC} = C/(N-1)L \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} &= \frac{9.2 \times 10^{-12} \text{ Farad}}{(20-1) 0,015 \text{ m}} \\ &= 32.28 \times 10^{-12} \text{ Farad/m} \end{aligned}$$

Dengan

$$k = \frac{b}{a+b} \quad (3.5)$$

$$k = \frac{0.75 \text{ mm}}{0.75 \text{ mm} + 0.75 \text{ mm}}$$

$$k = 0.25$$

Dan mengoperasikannya dengan *complete elliptic integral of the first kind* didapatkan:

$$K(\sqrt{k^2}) = K(0,25) = 1,69$$

$$K\sqrt{1 - k^2} = K(0,97) = 2,16$$



Sehingga,

$$\epsilon_2 = \frac{\frac{Cuc}{\epsilon_0} - \frac{\epsilon_3 K \sqrt{1-k^2}}{2 K(\sqrt{k^2})}}{\frac{h}{b} + \frac{K \sqrt{1-k^2}}{2 K(\sqrt{k^2})}} \quad (3.6)$$

$$E_2 = 0.96$$

Dimana nilainya mendekati nilai permitivitas udara yang telah diketahui secara teori bernilai 1. Menghasilkan selisih 0.02 dengan hasil pengukuran.

Sebagai perhitungan *error* terhadap nilai referensi, digunakan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} \% \text{ error} &= \left| \frac{\text{teori-eksperimen}}{\text{teori}} \right| \times 100\% \quad (3.7) \\ &= \left| \frac{1-0.96}{1} \right| \times 100\% \\ &= 4 \% \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan *error* pengukuran terhadap nilai referensi adalah sebesar 4 persen.

Persamaan ini juga digunakan dalam mengukur *error* selisih pengukuran nilai permitivitas menggunakan sistem terhadap nilai permitivitas yang dihasilkan RCL, dengan asumsi, nilai RCL merupakan nilai referensi yang telah dipercaya keakuratannya.

**“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”**

## **BAB IV PEMBAHASAN**

Bab ini akan menjelaskan tentang analisis penggunaan *microcontroller board* Arduino Uno R3 sebagai sistem pengukuran simultan, sekaligus membahas hasil pengukuran simultan sensor IDCS terhadap nilai kapasitansi crude oil yang selanjutnya diolah menjadi nilai permitivitas. Analisa juga mencakup pengaruh variasi konfigurasi IDCS yang digunakan terhadap nilai permitivitas *crude oil* yang dihasilkan. Data pengukuran akan disajikan dalam bentuk grafik nilai permitivitas terhitung dari nilai kapasitansi yang terukur secara *realtime*. Data selanjutnya akan dibandingkan dengan nilai permitivitas terukur dari RCL sebagai sumber validasi *error* pengukuran.

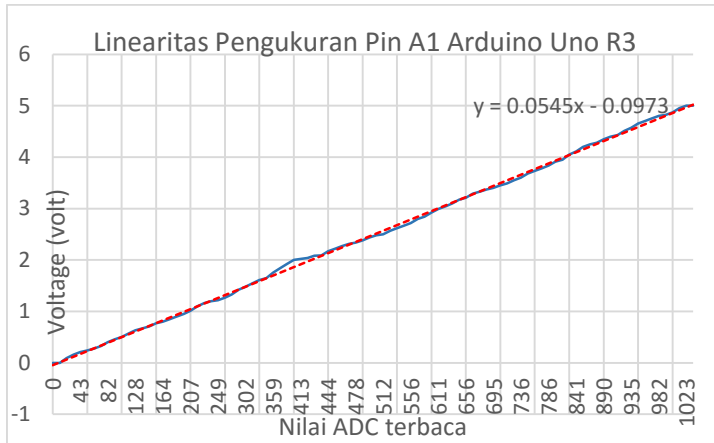
### **4.1 Analisa Linearitas Sistem dan Kalibrasi**

Sebagai mikrokontroler yang menjadi basis sistem pengukuran pada penelitian ini, Arduino UNO R3 menerima pembacaan berupa nilai tegangan keluaran yang berasal dari sensor IDCS yang digunakan. Tegangan terbaca ini merupakan data analog yang selanjutnya dikonversi oleh ADC (*analog to digital converter*) kedalam bentuk digital dalam rentang 0 – 1023 yang mewakili nilai tegangan 0 – 5 volt.

Untuk melakukan pengukuran secara simultan, digunakan tiga pin input analog sekaligus yakni *input pin* analog 1 (A1), analog 3 (A3), dan analog 5 (A5) yang masing-masing membaca nilai satu buah sensor. Pemilihan pin yang terpisah-pisah ini bertujuan untuk meminimalisir adanya *stray capacitance* dari kabel-kabel input yang berdekatan yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran.

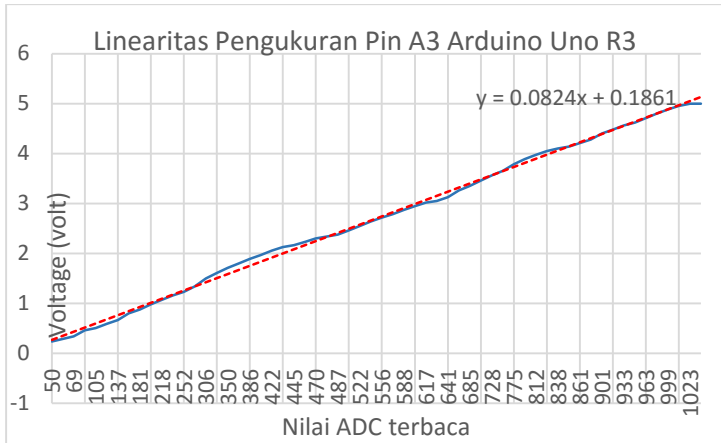
Sebelum proses pengukuran dimulai, perlu dipastikan linearitas sistem pengukuran yang digunakan, yang dalam hal ini adalah kemampuan pengukuran Arduino UNO R3. Uji linearitas ini dilakukan dengan rangkaian pembagi tegangan sederhana menggunakan potensiometer 10K ohm dan sumber tegangan 5 volt.

Dengan menaikkan nilai tegangan dari nol sampai lima volt secara konstan, dapat diketahui sejauh mana linearitas respon dari pin analog Arduino. Data linearitas masing-masing pin ditampilkan dalam Gambar 4.1 sampai 4.3 berikut.

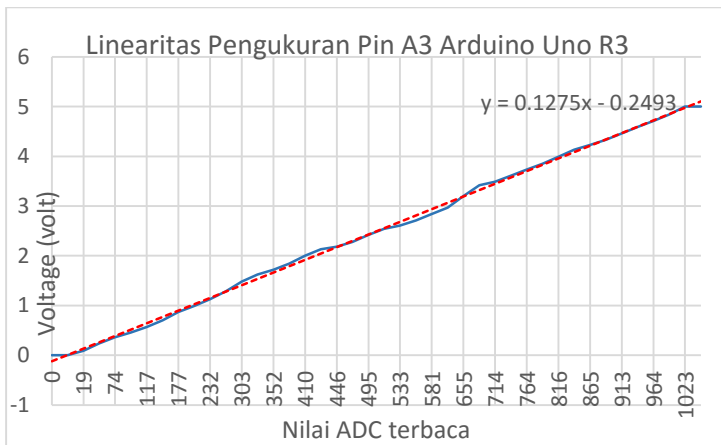


Gambar 4.1 Grafik Linearitas Pin A1

Berdasarkan grafik diatas, dapat disimpulkan bahwa *reading* pin analog yang digunakan memiliki linearitas yang baik. Hal tersebut dapat diamati pada hasil grafik yang selalu mendekati garis linear dari nol hingga nilai maksimum 5 volt. Simpangan yang terjadi seperti pada nilai 2 volt dan beberapa nilai lain disebabkan ketidaksempurnaan cepat putaran yang diberikan pada potensiometer, sehingga timbul *lag* pada perubahan nilai tegangan masuk selama beberapa saat dan menyebabkan grafik mengalami penyimpangan. Hal ini dapat disimpulkan sebagai faktor *human error*. Linearitas pada pin A3 dan A5 juga sama baiknya, seperti yang disajikan pada grafik 4.2 dan 4.3



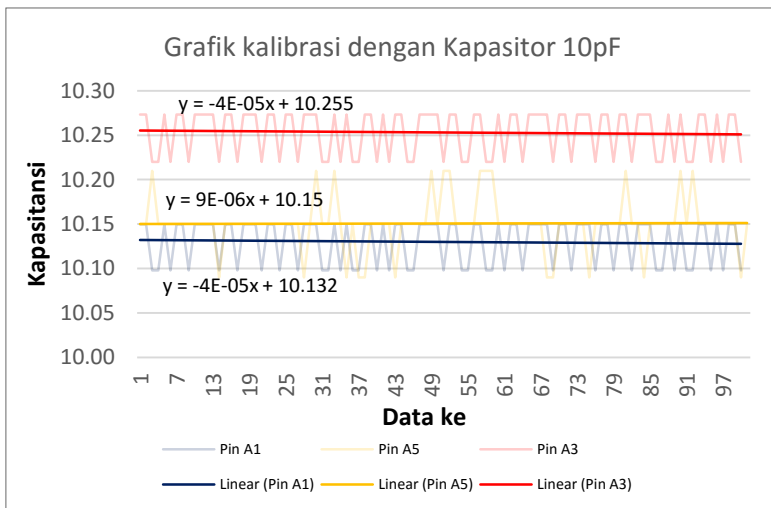
Gambar 4.2 Grafik Linearitas Pin A3



Gambar 4.3 Grafik Linearitas Pin A5

Dengan mengamati hasil tersebut dapat dikatakan bahwa Arduino UNO R3 mampu menjadi basis sistem pengukuran IDCS simultan otomatis dalam penelitian ini karena memiliki kemampuan mengukur besaran secara linear.

Sebelum digunakan, ketiga pin tersebut perlu dikalibrasi terlebih dahulu. Kalibrator yang digunakan adalah tiga kapasitor keramik 10pF yang telah diketahui kapasitansinya yakni dua buah sebesar 10.1 pF dan satu buah sebesar 10.2 pF. Dengan memanfaatkan sistem yang sama dengan sistem pengukuran yang akan digunakan, didapatkan nilai kalibrasi sebesar 29.18 untuk pin A1, 30,78 untuk pin A3, dan 37,48 untuk pin A5.



Gambar 4.4 Nilai kalibrasi tiga pin pengukuran dengan kapasitor 10pF

## 4.2 Analisa Data Pengukuran Simultan

Dalam penelitian ini, seluruh proses pengukuran pada nilai permitivitas *crude oil* menggunakan IDCS dilakukan di Laboratorium Instrumentasi dan Elektronika, lantai 3 gedung G Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pengukuran dilakukan pada temperatur ruangan 26-27 °C pada tiga jenis *crude oil* 1, 2 dan 3. Masing-masing *crude oil* diambil *sample*-nya sebanyak 300 ml dan diletakkan pada *beaker glass* ukuran 500 ml. Penggunaan beaker gelas ini kompatibel dengan pengukuran IDCS

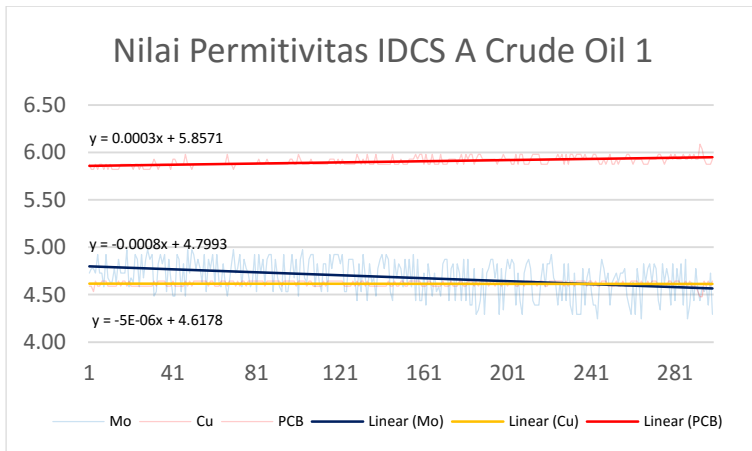
karena bahannya merupakan isolator alami yang dapat meminimalisir gangguan pengukuran.

Dalam penelitian ini, uji karakterisasi dan pengukuran simultan menggunakan 9 macam IDCS yang terdiri dari tiga jenis desain yakni desain A, B dan C yang masing-masing dibuat dari tiga jenis bahan elektroda Mo (Molybdenum), PCB, dan Cu (Cuprum). Tiap desain A, B, dan C memiliki variasi perbedaan lebar elektroda, jarak antar elektroda, panjang elektroda dan jumlah elektroda seperti yang telah dicantumkan pada tabel 3.1

Penggunaan variasi desain dan bahan IDCS yang berbeda ini bertujuan untuk menentukan jenis desain dan bahan elektroda terbaik yang paling cocok digunakan dalam sistem pengukuran simultan berbasis mikrokontroler. Sebab, berbeda dengan pengukuran dengan RCL yang menghasilkan satu nilai tetap, pengukuran simultan ini memanfaatkan analisa nilai tegangan terukur yang kontinyu pada rentang waktu tertentu. Sehingga sistem ini membutuhkan IDCS yang cukup sensitif namun juga stabil dalam melakukan pengukuran.

Untuk menentukan material dan desain yang paling tepat digunakan, pengambilan data dilakukan secara simultan bertahap. Satu kali pengambilan data dilakukan terhadap tiga buah IDCS dengan desain sama dan bahan elektroda berbeda. Hal ini untuk memperbanyak kesamaan karakteristik pada masing-masing sensor yang dibandingkan untuk menghasilkan kesimpulan dan analisis yang lebih koheren dan mudah dibandingkan.

Seluruh IDCS yang digunakan dibuat diatas substrat berbahan FR-4 yang memiliki nilai permitivitas relatif 4,75 F/m. Khusus untuk PCB, lapisan elektrodanya merupakan campuran tembaga yang tidak murni sehingga memiliki perbedaan dengan IDCS berbahan Cu murni.

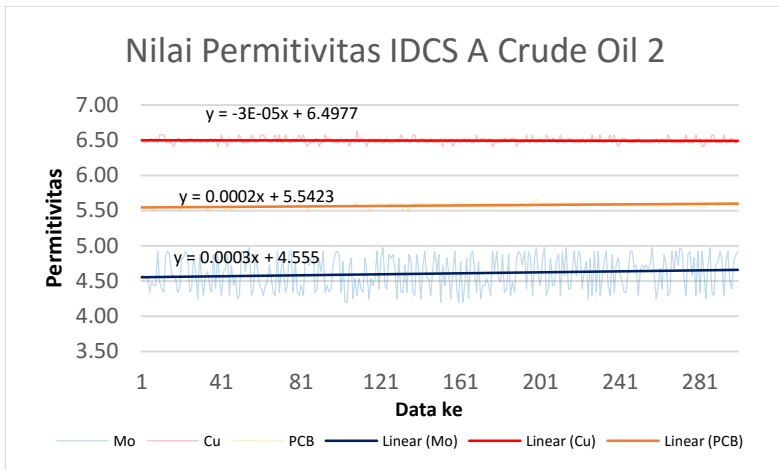


Gambar 4.4 Permittivitas desain A Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 1

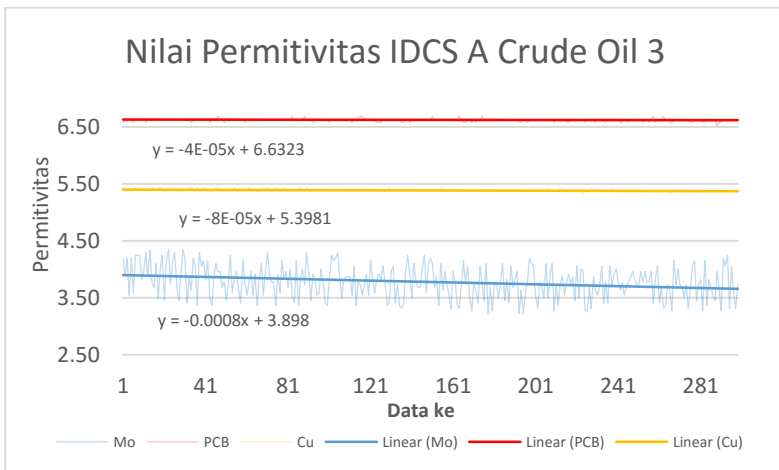
Gambar 4.4 diatas menunjukkan nilai permittivitas relatif *crude oil* 1 yang dihitung menggunakan nilai kapasitansi dari tiga jenis IDCS desain A, yakni Mo, PCB, dan Cu. Dari grafik tersebut, terlihat bahwa nilai permittivitas yang diukur menggunakan IDCS berbahan Mo menunjukkan penurunan nilai. Selain itu, grafik kapasitansi yang terbaca juga memiliki nilai yang relatif tidak stabil jika dibandingkan hasil pembacaan pada sensor PCB dan Cu.

Ketidakstabilan nilai permittivitas sensor Mo terjadi akibat pengaruh konduktivitas bahan Mo yang termasuk paling kecil dibanding kedua jenis sensor lainnya yakni 34,48% IACS, dibandingkan Cu dan PCB yang mencapai 100% IACS. Sehingga, nilai pembacaan yang terukur pun cenderung tidak stabil. Hal ini diperkuat dengan melihat hasil pengukuran dari Cu dan PCB yang nilainya mendekati konstan, sehingga dapat disimpulkan bahwa pengaruh pengukuran yang berasal dari kedua sensor lainnya dapat diabaikan.





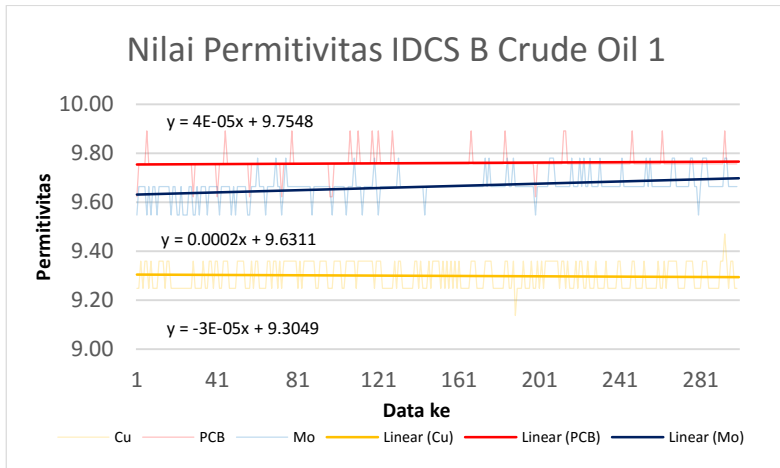
Gambar 4.5 Permittivitas desain B Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 2



Gambar 4.6 Permittivitas desain A Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 3

Dari Gambar 4.5 dan 4.6, terlihat pembacaan sensor lebih stabil pada masing-masing crude oil 2 dan 3. Namun, nilai pembacaan pada sensor jenis Mo masih cenderung memiliki banyak noise dan menunjukkan nilai yang berubah, yakni permittivitas yang terbaca

mengalami penurunan. Hal ini disebabkan sifat konduktivitas Mo dalam desain A yang tidak cukup stabil untuk menghasilkan data yang minim *noise* dan stabil. Perbedaan karakteristik pengukuran ini dapat diamati pada pengukuran dengan dua jenis sensor lainnya.



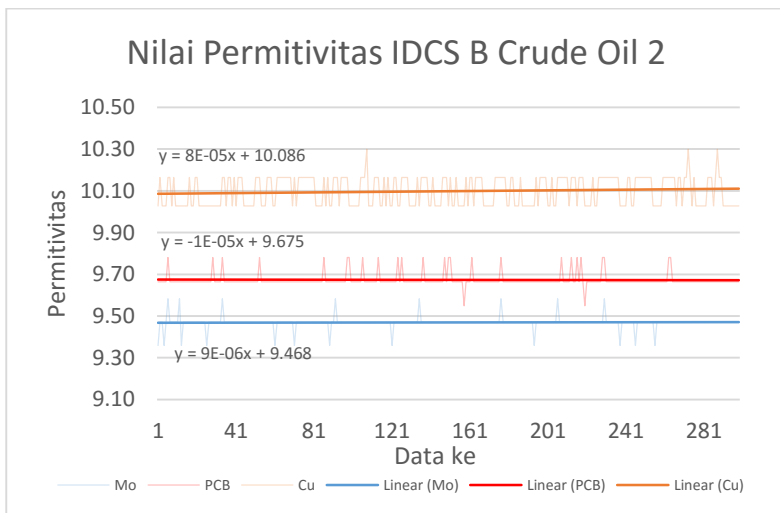
Gambar 4.7 Permittivitas desain B Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 1

Pada IDCS desain B dengan masing-masing bahan Mo, PCB, dan Cu. Pengukuran dengan desain B ini menghasilkan nilai permittivitas yang jauh diatas rata-rata pengukuran dengan dua jenis desain lain. Namun, dengan nilai kalibrasi yang sama, dan interval pengambilan data juga sama, yakni 1.5 detik, nilai yang terbaca pada sensor tipe B ini cenderung lebih stabil dibanding tipe A.

Dengan nilai permittivitas yang berdekatan, dapat terlihat bahwa pengukuran simultan menggunakan sensor B ini menghasilkan nilai yang lebih stabil. Ini dapat dijelaskan dengan mengamati penampang konfigurasi desain yang digunakan. Dimana panjang dan celah elektroda yang relatif sempit, masing masing sebesar 5mm dan 1mm menghasilkan medan listrik yang lebih lebih stabil. Selain itu, dimensi fisik yang kecil menyebabkan IDCS tipe ini dapat diletakkan lebih berjauhan-jauhan untuk

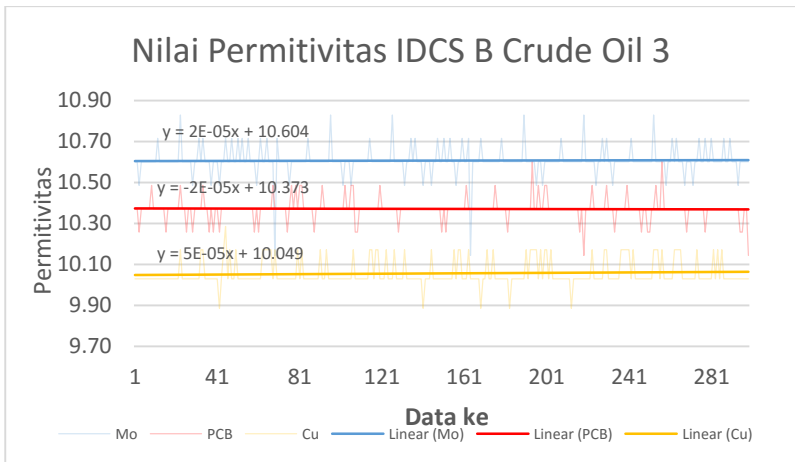
meminimalisir interferensi medan dengan IDCS lainnya saat dilakukan pengukuran secara simultan.

Dibanding desain lainnya, IDCS tipe ini memiliki sensitifitas yang kurang baik. Hasil pengukuran selama 7.5 menit dengan sampling rate per 1.5 detik menunjukkan bahwa meski stabil, nilai kapasitansi yang diterima sensor ini memang tidak sesuai dengan konfigurasinya, sehingga secara otomatis, perhitungan nilai permitivitas pada program pun menghasilkan nilai yang jauh dari pengukuran lainnya.



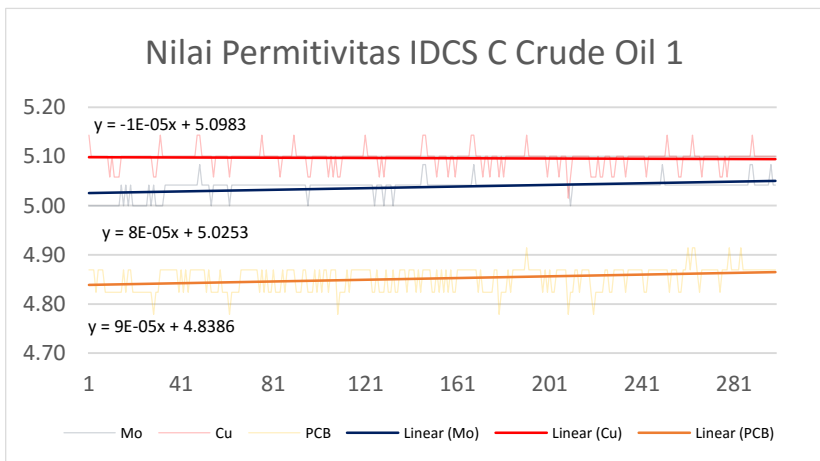
Gambar 4.8 Permitivitas desain B Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 2

Kestabilan pengukuran yang menghasilkan nilai permitivitas tinggi tersebut juga dapat diamati pada crude oil 2 dan 3 dimana PCB menjadi bahan yang paling stabil, namun juga memiliki nilai paling jauh dari rata-rata pengukuran. Sehingga menunjukkan bahwa alat yang digunakan, dan pengukuran simultan ini menghasilkan nilai yang konsisten dan terukur.



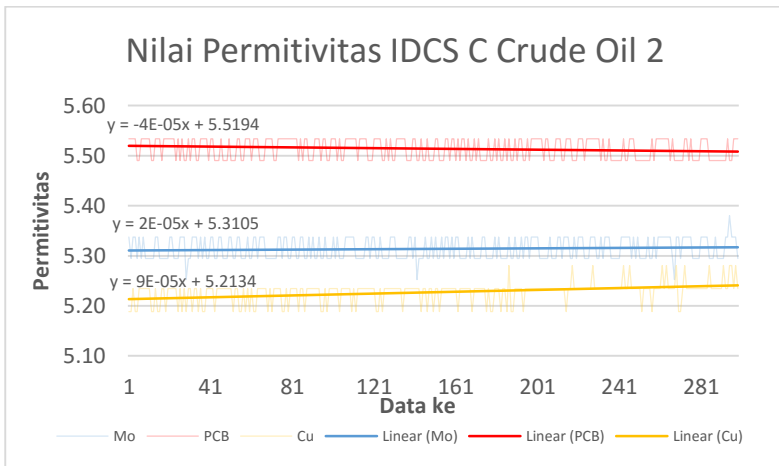
Gambar 4.8 Permittivitas desain B Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 3

Dari ketiga jenis sensor, pembacaan paling stabil dapat diamati terjadi pada sensor dengan tipe desain C, yang memiliki karakteristik lebar elektroda dan jarak elektroda sempit (0.5mm), namun dengan jumlah elektroda paling besar yakni 30 buah



Gambar 4.9 Permittivitas desain C Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 1

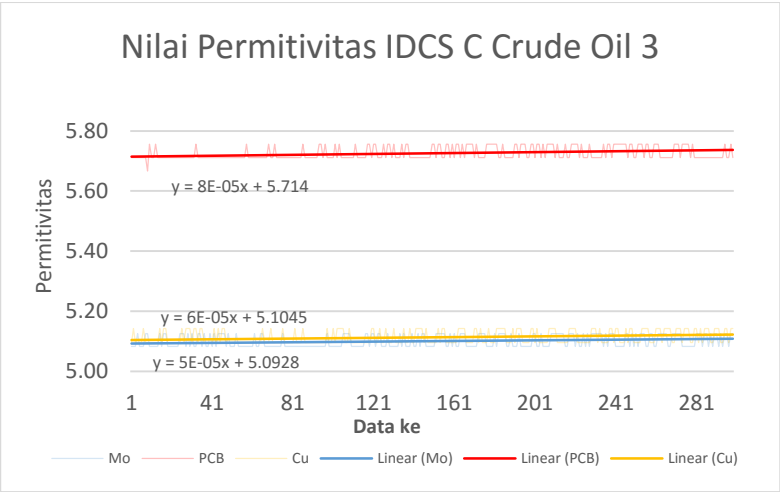
Dari Gambar 4.9 dapat diamati bahwa meski Sensor Mo dan Cu mengalami perubahan nilai permitivitas dalam rentang waktu pengukuran, perubahannya relatif sangat kecil dengan rentang pergeseran nilai dibawah 0.1 dalam rentang 7.5 menit. Yang mengindikasikan bahwa pengukuran cukup stabil. Perubahan pada noise pun terlihat sementara dimana hal tersebut berasal dari faktor sensitivitas IDCS yang sangat tinggi saat digunakan dalam pengukuran. Dalam hal ini, pengukuran memang tidak dilakukan dalam kondisi sempurna. Gangguan seperti posisi sensor yang berubah atau tergeser dapat menyebabkan munculnya *jitter* atau lonjakan nilai pada grafik pengukuran yang dapat membuat nilainya berubah.



Gambar 4.10 Permitivitas desain C Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 2

Pengukuran pada crude oil 2 menunjukan bahwa nilai pengukuran Mo dan PCB telah stabil dan konstan, sementara Cu mengalami sedikit peningkatan nilai permitivitas dalam rentang pengukuran. Hal ini bentuk pengaruh dari faktor konduktivitas Mo dan Cu, dimana Mo yang memiliki konduktivitas rendah dapat menghasilkan nilai yang lebih konsisten pada desain ini karena kepadatan elektroda yang disusun lebih rapat.

Kerapatan tersebut mengompensasi konduktivitas Mo dengan menghasilkan medan listrik yang radiusnya lebih kecil dan konstan dibandingkan desain A sehingga membuat nilai kapasitansi yang terbaca lebih stabil dan minim noise. Sementara Cu, dengan sifat konduktivitasnya yang tinggi menjadi semakin sensitif sehingga menyebabkan ketidaksempurnaan alat, faktor loss dari kabel dan sifat pengukuran yang berjeda tiap 1.5 detik menimbulkan *jitter* yang menaikkan dan menurunkan nilai permitivitas terukur. Meski demikian, pengukuran pada *crude oil* 3 menunjukkan data yang paling stabil pada ketiga jenis sensor, sama seperti yang ditunjukkan pengukuran sensor desain A dan B. Hal ini menunjukkan *crude oil* 3 memiliki kandungan dan komposisi bahan yang lebih stabil dan homogen sehingga meminimalisir *jitter* dan inakurasi pembacaan pada sensor akibat perbedaan unsur-unsur terkandung yang memiliki nilai permitivitas berbeda-beda.



Gambar 4.11 Permitivitas desain C Mo, PCB, Cu pada Crude Oil 2

Dari seluruh pengukuran yang dilakukan, terlihat bahwa nilai permitivitas bersifat linear terhadap nilai kapasitansi. Nilai permitivitas juga berhubungan erat dengan faktor konfigurasi IDCS yang digunakan, terutama pada jumlah  $n$ , lebar elektroda, lebar gap dan panjang lengan elektrodanya, seperti yang teramati pada ketiga jenis konfigurasi IDCS.

Perbedaan nilai permitivitas paling terlihat terjadi pada IDCS A dan B, dimana keduanya sama-sama memiliki jumlah elektroda yang sama namun nilai permitivitas B jauh lebih besar. Hal ini dapat dijelaskan sebagai pengaruh fisis yang disebabkan besarnya nilai kapasitansi pada konfigurasi B.

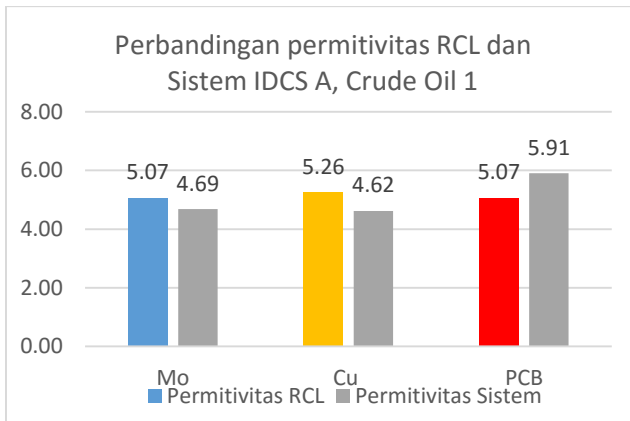
Lengan IDCS B yang relatif pendek membuat peran kapasitansi yang timbul pada ujung-ujung lengan elektroda semakin mempengaruhi pengukuran kapasitansi total yang diperoleh. Sementara pada IDCS A dengan panjang lengan elektroda yang relatif lebih panjang membuat *stary capacitance* pada ujung-ujung lengan tidak begitu mempengaruhi hasil pengukuran.

Fenomena fisis tersebut menjadi bukti bahwa permitivitas terukur pada IDCS berhubungan erat dengan nilai kapasitansi yang dihasilkan dari konfigurasi IDCS yang digunakan. Sehingga, dapat ditentukan jenis IDCS paling baik untuk digunakan berdasarkan hasil pengukuran dan nilai permitivitas yang paling mendekati.

### **4.3 Validasi Data Pembanding dengan Pengukuran RCL**

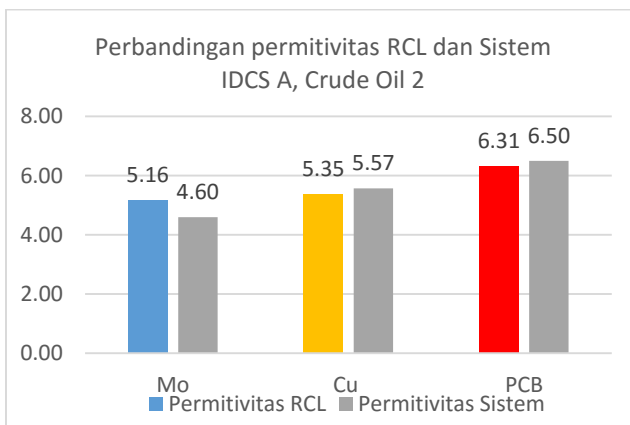
Hasil pengukuran simultan dengan sistem otomasi memiliki karakteristik yang berbeda dengan pengukuran dengan RCL. Pada pengukuran RCL, nilai yang disajikan merupakan nilai pengukuran tetap. Sementara sistem pengukuran otomatis menggunakan Arduino UNO R3 seperti pada penelitian ini dilakukan dalam rentang waktu tertentu, sehingga menghasilkan banyak data yang memiliki noise dan nilai-nilai diluar nilai pengukuran sebenarnya. Hal ini disebabkan terutama karena sifat digital yang menjadi basis kerja mikrokontroler. Pembacaan analog seperti pada sensor harus diubah kedalam bentuk digital melalui ADC yang membagi tegangan input sebesar 5 volt kedalam range digital 0-1023, sehingga sistem pengukuran ini memiliki resolusi sekitar 0.48 – 0.5 mV. Hal ini yang membuat di hampir tiap grafik pengukuran dengan sistem ini menunjukkan perubahan nilai konstan antara dua nilai pengukuran yang mayoritas terletak dalam rentang tersebut. Simpangan ini berasal dari faktor loss dan gangguan lain yang menyebabkan tegangan input terbaca tidak konstan berada pada satu nilai, namun sedikit naik dan turun, sehingga menyebabkan nilai ADC berubah 1 atau -1 dan menyebabkan grafik terlihat membentuk zigzak. Maka, penyajian data diatas dilengkapi garis regresi linier untuk mengetahui tren dari data pengukuran terbanyak yang dapat dijadikan acuan sebagai nilai pengukuran sebenarnya. Dan untuk mengetahui sejauh mana akurasi sistem ini, analisa juga akan dilakukan dengan membandingkan nilai permitivitas hasil perhitungan sistem dan permitivitas hasil pengukuran RCL.



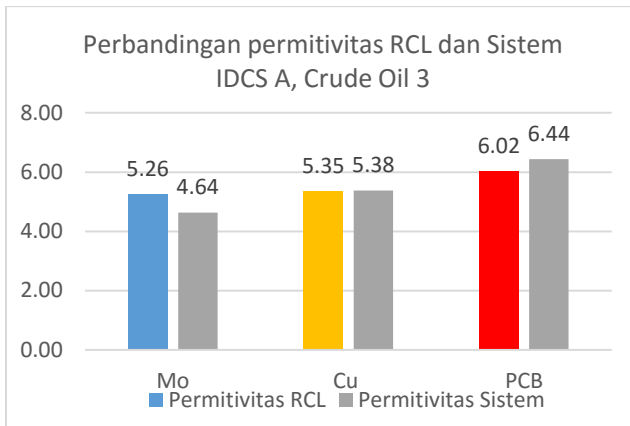


Gambar 4.12 Perbandingan permitivitas RCL dan sistem IDCS A, pada *crude oil 1*

Pada Gambar 4.12, dapat diamati bahwa nilai rata-rata pengukuran permitivitas crude oil dan RCL memiliki selisih antara 0.6 sampai 0.9. nilai paling mendekati tercatat pada bahan Cu dengan selisih 0.4, sementara PCB memiliki selisih permitivitas sebesar 0.9.



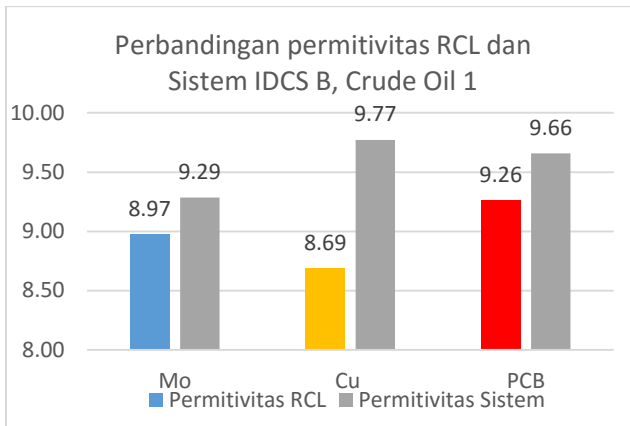
Gambar 4.13 Perbandingan permitivitas RCL dan sistem IDCS A, pada *crude oil 2*



Gambar 4.14 Perbandingan permitivitas RCL dan sistem IDCS A, pada *crude oil 3*

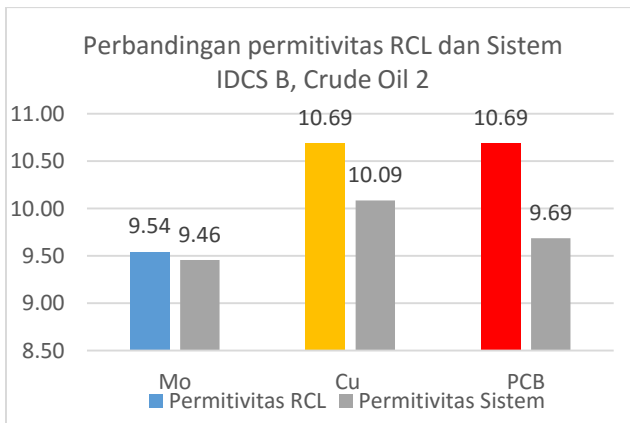
Berdasarkan Gambar 4.13 dan 4.14, IDCS desain a menunjukkan pengukuran dengan selisih yang cukup kecil terhadap pengukuran RCL. Perbedaan pengukuran paling besar teramati pada bahan Cu di *crude oil 1* dengan *error* pengukuran sistem terhadap RCL sebesar 12.137%. *Error* ini dihitung menggunakan persamaan 3.7. Sementara data paling akurat didapati pada sensor Cu *crude oil 3* dengan *error* terhadap RCL 0.534%. Sementara rata-rata *error* pengukuran pada tiap *crude oil* menggunakan sensor A adalah sebesar 12,006% untuk *crude oil A*, 6.0014% untuk *crude oil B* dan 6,423% untuk *crude oil C*. Dengan demikian, Sensor A pada ketiga *crude oil* memiliki rata-rata *error* relatif terhadap pengukuran RCL sebesar 8.1635%

Dari pengukuran tersebut, dapat diamati bahwa *error* relatif paling besar teramati pada *crude oil 1*. Rerata *error* terbesar ini juga muncul pada pengukuran dengan desain sensor B yang dapat diamati pada Gambar 4.15 sampai 4.17 berikut.

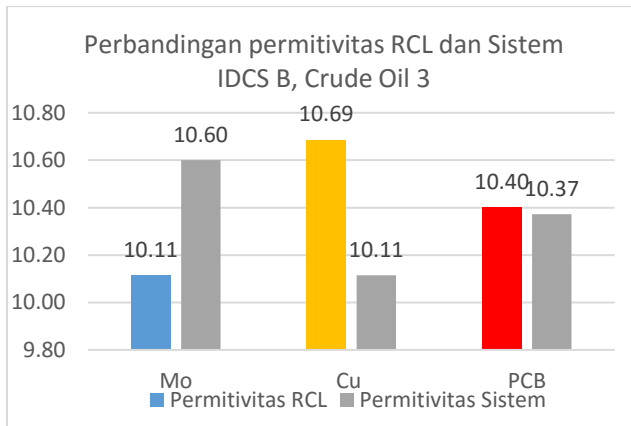


Gambar 4.15 Perbandingan permitivitas RCL dan sistem IDCS B, pada *crude oil 1*

Pada desain B, *error* terbesar juga teramati muncul pada bahan Cu di *crude oil 1*. Besar *error* pengukuran relatif terhadap RCL adalah 12,5%. Sementara *error* paling kecil teramati pada bahan PCB *crude oil 3* sebesar 0,27%.



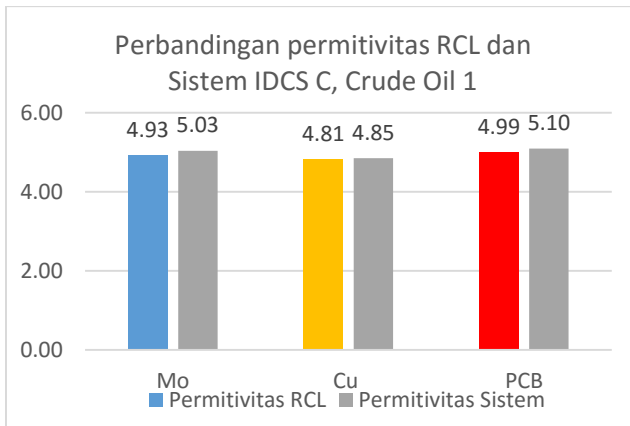
Gambar 4.16 Perbandingan permitivitas RCL dan sistem IDCS B, pada *crude oil 2*



Gambar 4.17 Perbandingan permitivitas RCL dan sistem IDCS B, pada *crude oil 3*

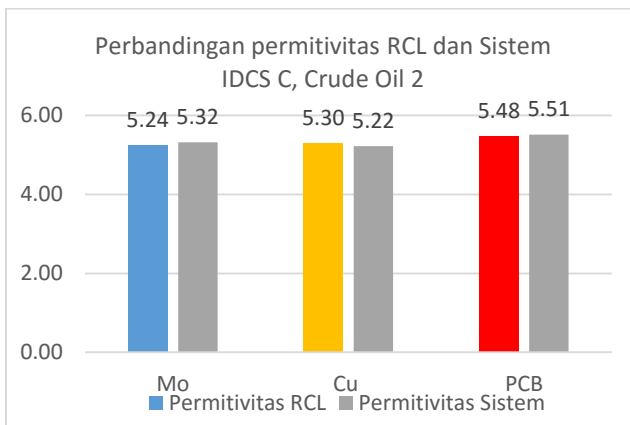
Dengan *margin error* relatif terbesar 12.5 dan terendah 0.27%, sensor dengan desain B memiliki rata-rata *error* pengukuran keseluruhan sebesar 5.179%. Jika dibandingkan sensor dengan desain A, nilai ini lebih rendah. Namun, nilai hasil pengukuran permitivitas IDCS tipe B memiliki nilai yang hampir dua kali lipat nilai rata-rata pengukuran sensor A dan C. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa sensor B memiliki *error* yang relatif kecil terhadap pengukuran serupa dengan RCL, namun memiliki *error* nilai permitivitas yang jauh lebih besar dari kedua jenis sensor lainnya. Hal ini teramati di semua jenis bahan sensor, Mo, Cu, dan PCB.

Dibanding dua jenis sensor diatas, desain sensor tipe C memiliki nilai *error* relatif, maupun nilai *error* pengukuran yang paling rendah. Hal ini dapat dijelaskan sebagai pengaruh fisis struktur konfigurasi IDCS yang elektrodanya tersusun rapat, sehingga nilai kapasitansinya juga semakin besar. Besarnya nilai kapasitansi ini meminimalisir pengaruh noise pada hasil pembacaan, sehingga didapatkan data yang lebih stabil dan akurat.

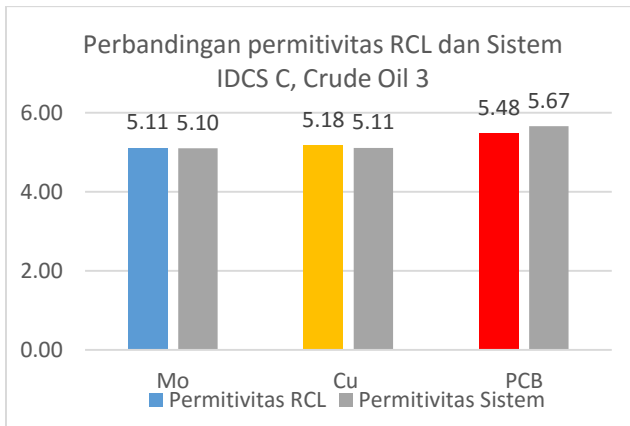


Gambar 4.18 Perbandingan permitivitas RCL dan sistem IDCS C, pada *crude oil 1*

Dihitung dengan persamaan 3.7, *error* pengukuran terbesar IDCS tipe C terdapat pada bahan Mo di *crude oil 1*, yakni sebesar 2.11%. Sementara nilai *error* terndah sebesar 0.239% teramati pada bahan Mo yang digunakan mengukur *crude oil 3*.



Gambar 4.19 Perbandingan permitivitas RCL dan sistem IDCS A, pada *crude oil 2*



Gambar 4.20 Perbandingan permitivitas RCL dan sistem IDCS C, pada *crude oil 3*

Pada tiap *crude oil*, desain IDCS C memiliki *error* relatif terhadap pengukuran yang sangat rendah. Perhitungan *error* ini menggunakan persamaan 3.7. Dengan *error* terbesar 2.11% dan terendah 0.239%, desain IDCS F memiliki rata-rata *error* keseluruhan sebesar 1.48% dengan *error rate* terendah muncul pada *crude oil 3*.

Dari keseluruhan perhitungan, terlihat bahwa tidak ada bahan yang benar-benar stabil di semua pengukuran. Seperti Cu yang merupakan bahan yang memiliki salah satu *error* paling tinggi, sekaligus paling rendah, atau Mo yang sangat tidak stabil pada konfigurasi A, namun justru menjadi sangat stabil pada konfigurasi F. Hal ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor *human error* dalam pengukuran, maupun kondisi alat yang kurang sempurna.

*Human error* pada pengukuran termasuk seperti kabel yang saling terlilit atau memasukkan IDCS secara kurang tepat kedalam *crude oil* yang menyebabkan terdapat rongga-rongga udara yang terjebak di dalam *crude oil* dan mempengaruhi hasil pengukuran.

Sementara faktor alat dapat dibedakan pada faktor IDCS dan faktor sistem. *Noise* dan pengukuran yang kurang tepat dapat

disebabkan kurang sempurnanya kontak IDCS dengan probe pengukuran, yang disebabkan beberapa faktor seperti penjepit buaya yang digunakan tidak sepenuhnya menempel pada kontak dan kondisi konektor IDCS yang sudah mulai *aus*. Termasuk tidak adanya alat khusus yang dapat menstabilkan posisi probe dan IDCS pada *crude oil*, sehingga sewaktu-waktu kontak probe pada IDCS bisa terlepas dan membuat perbedaan pada pengukuran selanjutnya karena pemasangan ulang.

Selain itu, kondisi papan mikrokontroler yang ditenagai daya dari laptop memiliki kelemahan, yakni terjadi *jitter*, atau lompatan tegangan yang mempengaruhi kinerja pengukuran, sehingga seringkali teramati nilai pengukuran naik turun dalam rentang dua nilai yang berdekatan.

***“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”***



## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembuatan sistem pengukuran simultan berbasis Arduino, diperoleh kesimpulan :

1. Pembuatan sistem pengukuran simultan otomatis untuk mengukur permitivitas *crude oil* menggunakan IDCS dapat dibuat dengan memanfaatkan *microcontroller board* Arduino UNO R3 dan program Microsoft Excel 2016
2. *Microcontroller board* Arduino UNO R3 yang digunakan dalam penelitian ini mampu mengukur nilai input secara linear sehingga cocok digunakan sebagai basis pengembangan sistem, dengan faktor pengali *stray capacitance* yang digunakan dalam kalibrasi sebesar 29,18 untuk pin A1, 30,78 untuk pin A3, dan 37,48 untuk pin A5.
3. Konfigurasi IDCS paling baik digunakan sebagai sensor dalam pengukuran simultan otomatis menggunakan Arduino UNO R3 adalah konfigurasi C dengan karakteristik lebar elektroda 0.5mm, panjang elektroda 15mm, jarak antar elektroda 0.5mm dan jumlah elektroda 30 buah. Bahan elektroda yang paling stabil dan baik digunakan adalah Tembaga, atau Cu dengan *error* rata-rata keseluruhan 4,8%.

### 5.2 Saran

Dari hasil penulisan tugas akhir ini, untuk penelitian selanjutnya disarankan :

1. Pengukuran Ini sangat rentan noise sehingga diperlukan pembuatan perangkat keras maupun desain algoritma program yang lebih efisien untuk mencegah noise. Seperti membuat dudukan khusus yang tidak mudah bergerak, dan menambahkan algoritma atau rangkaian filter pada koneksi data dan logger.

2. Menggunakan probe yang didesain khusus, dan bukan menggunakan kabel buaya untuk menghindari noise tidak terukur dan jepitan kabel buaya yang cenderung merusak sensor.
3. Menggunakan lebih dari satu alat ukur yang telah terkalibrasi, agar data yang diperoleh lebih akurat
4. Memastikan kontak probe dengan IDCS, dan kontak elektroda IDCS dengan crude oil sempurna.
5. Membuat atau menggunakan alat khusus yang dapat menjaga posisi probe dan IDCS tetap diam selama proses pengukuran berlangsung.
6. Menggunakan variasi konfigurasi desain, bahan, dan jumlah IDCS untuk melakukan pengukuran simultan lebih dari 3 dalam satu waktu.

## DAFTAR PUSTAKA

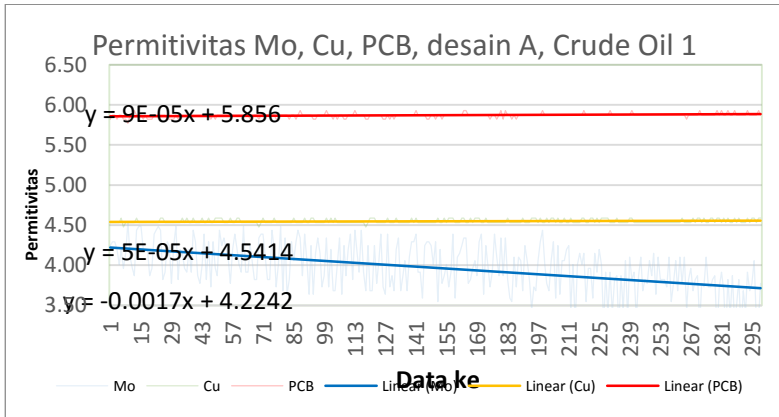
- Angkawisittpan, N. 2012. Determination of Sugar Content in Sugar Solutions using Interdigital Capacitor sensor. Measurement Science Review Vol.12 No. 1
- Wolfe, Alan. 1987. Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Physically Intercalate into Duplex Regions of Denatured DNA. Biochemistry 1987, 26, 6392-6396
- Hugh D. Young dan Roger A. Freedman, 2002, Fisika Universitas, Jakarta: Erlangga
- Jun Wan Kim, Praveen Pasupathy, dkk, 2009, Measurement of liquid complex dielectric constants using non contact sensors, IEEE-978-1-4244-5335
- Santos, R.G. 2014. An Overview of Heavy Oil Properties and its Recovery and Transportation Methods. Brazilian Journal of Chemical Engineering Vol. 31, No. 03, pp. 571 – 590
- Shirasama Yasutomo dkk, 2015, Implementation of Wide Range Soil Moisture Profile Probe by Coplanar Plate Capacitor on Film Substrate, IEEE-978-4799-8203-5
- Rifkin, Jeremy. 1995. The End of Work: The Decline of the Global Labor Force and the Dawn of the Post-Market Era. Putnam Publishing Group. pp. 66, 75. ISBN 0-87477-779-8.
- Pasuraman, Raja et al. 2000. A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation. Ieee transactions on systems, man, and cybernetics—part a: systems and humans, vol. 30, no. 3

Beesley, Philip, and Robert Gorbet. 2008. Arduino at Work: the Hylozoic Soil control system.. Toronto: Riverside. Architectural Press, 235-240.

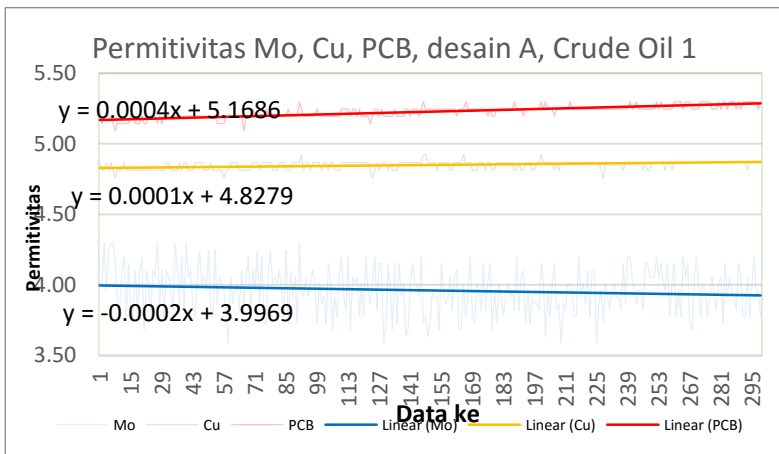
Barr, Michael. 2001. Pulse Width Modulation. Embedded System Programming.

## LAMPIRAN

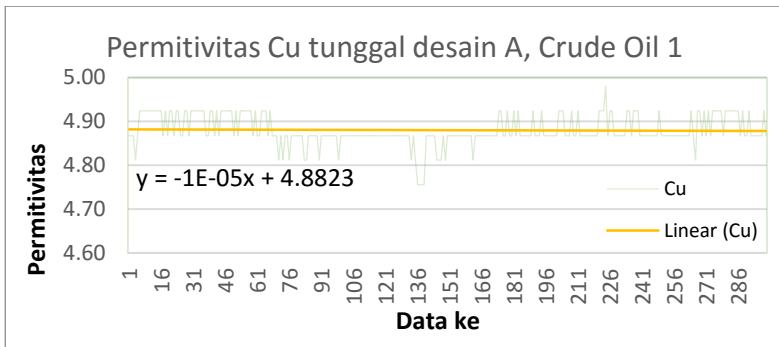
### Permittivitas hasil pengulangan pengukuran simultan dan pengukuran satu per satu pada tiap sensor



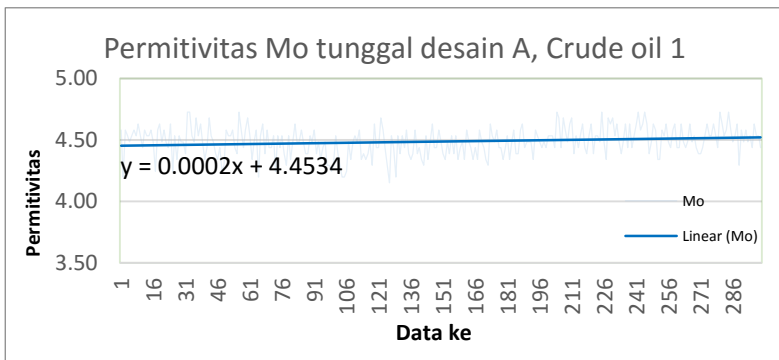
Gambar 1. Permittivitas Mo, PCB, Cu A pada crude oil 1 pengulangan 1



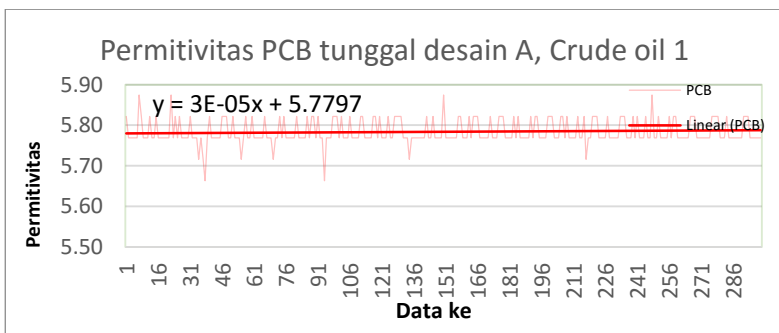
Gambar 2. Permittivitas Mo, PCB, Cu A pada crude oil 1 pengulangan 2



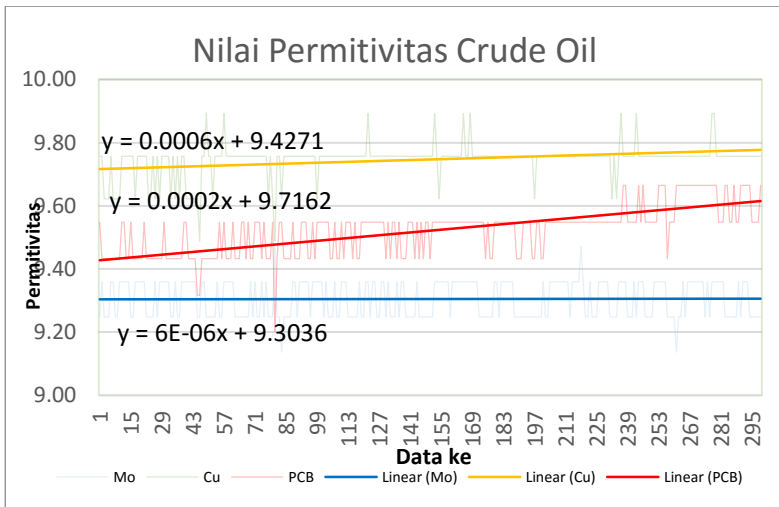
Gambar 3. Permittivitas Cu pengukuran tunggal crude oil 1



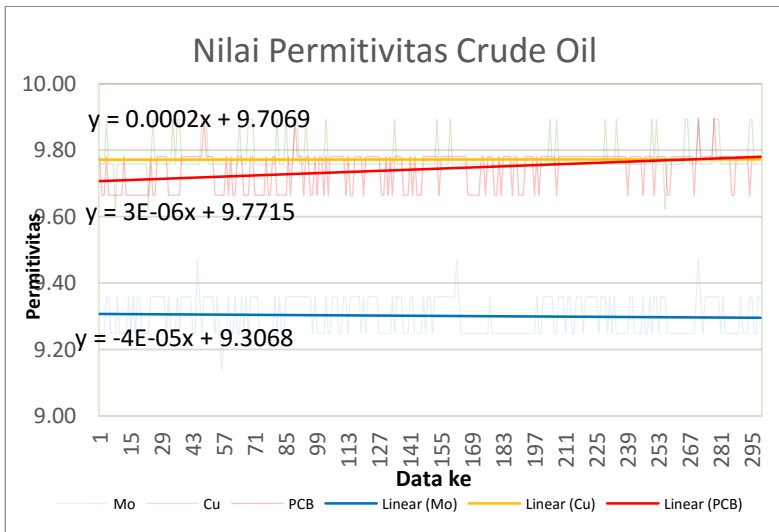
Gambar 4. Permittivitas Mo pengukuran tunggal crude oil 1



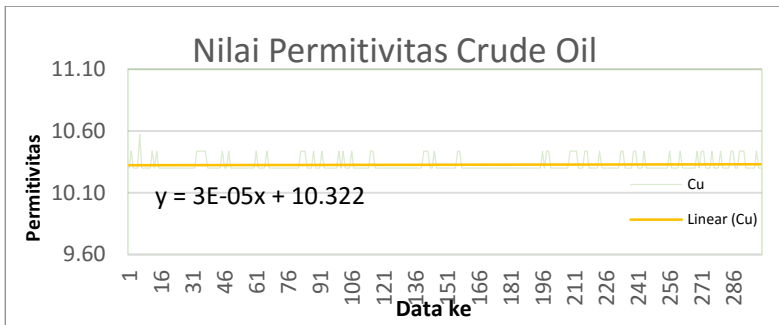
Gambar 5. Permittivitas PCB pengukuran tunggal crude oil 1



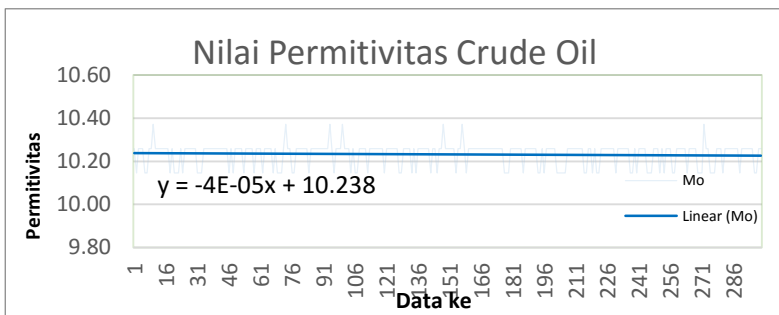
Gambar 6. Permittivitas Mo, PCB, Cu B pada crude oil 1 pengulangan 1



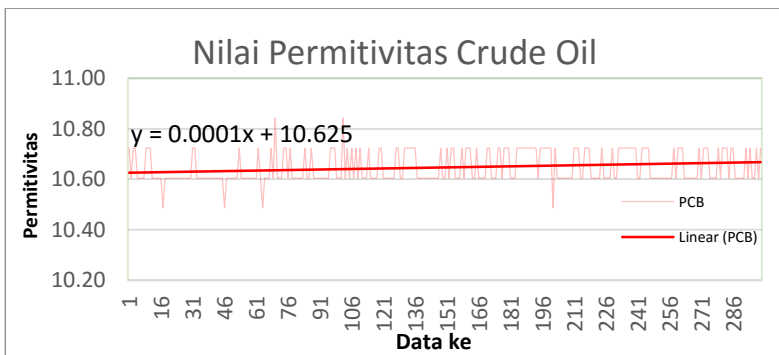
Gambar 7. Permittivitas Mo, PCB, Cu B pada crude oil 1 pengulangan 2



Gambar 8. Permittivitas Cu B pengukuran tunggal crude oil 1

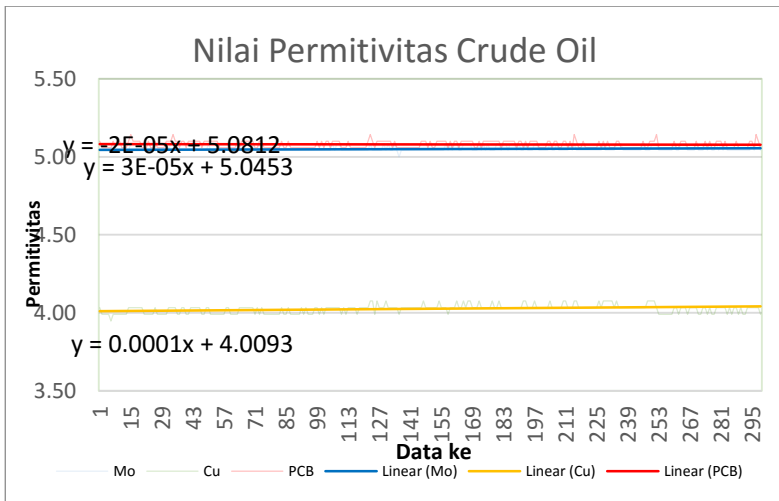


Gambar 9. Permittivitas Mo B pengukuran tunggal crude oil 1

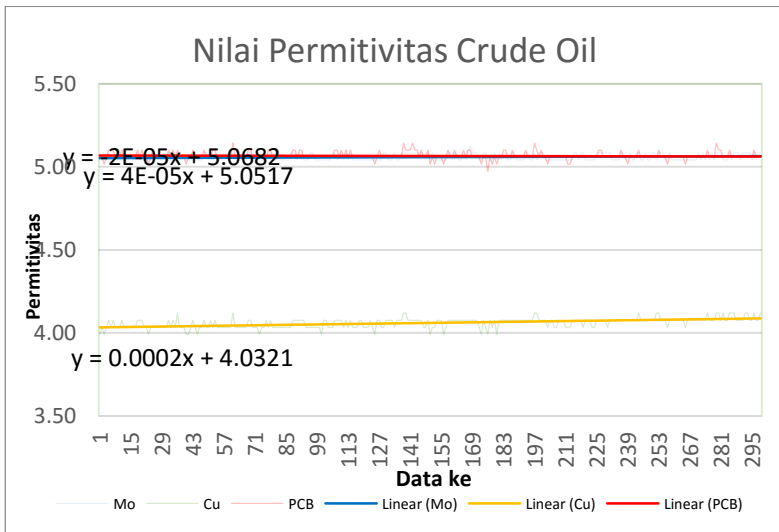


Gambar 10. Permittivitas PCB B pengukuran tunggal crude oil 1

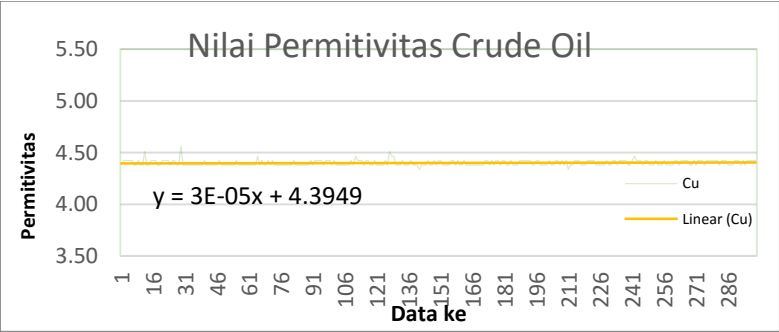




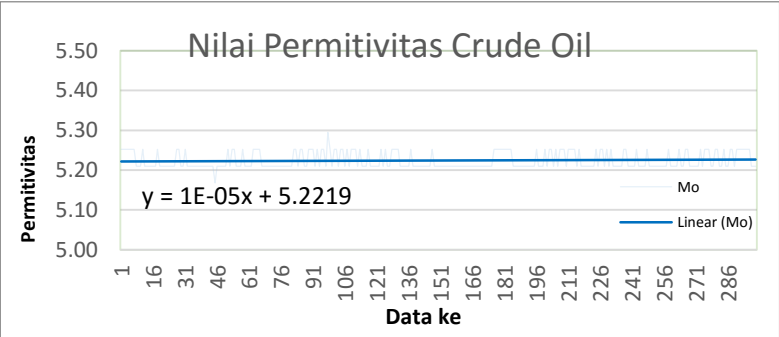
Gambar 11. Permittivitas Mo, PCB, Cu C pada crude oil 1  
pengulangan 1



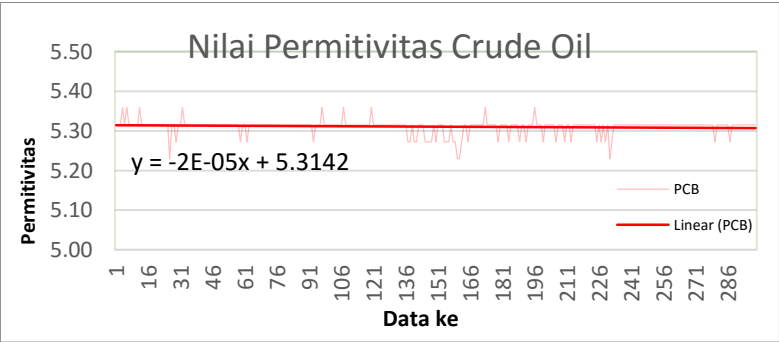
Gambar 12. Permittivitas Mo, PCB, Cu C pada crude oil 1  
pengulangan 2



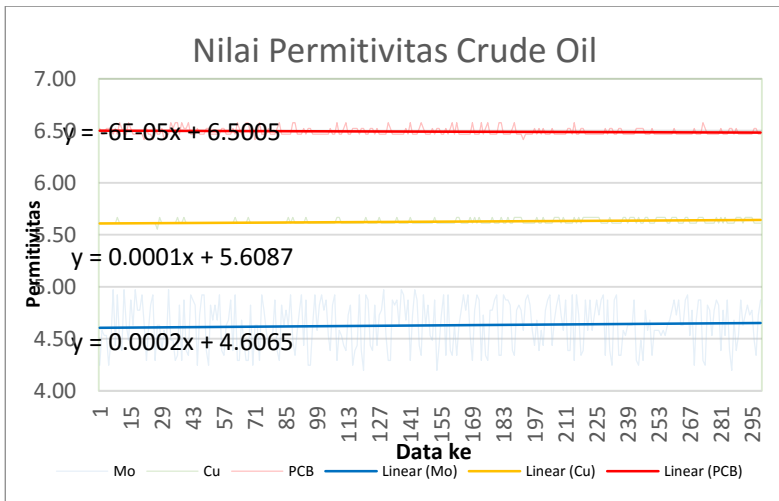
Gambar 13. Permittivitas Cu C pengukuran tunggal crude oil 1



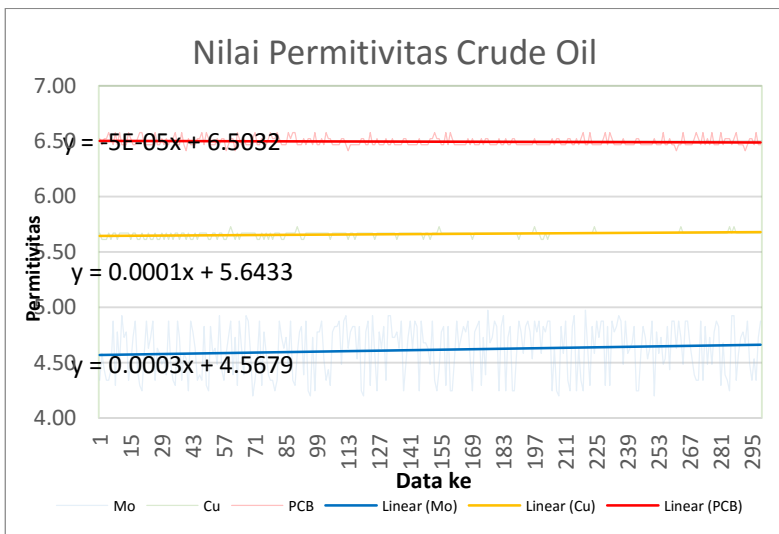
Gambar 14. Permittivitas Mo C pengukuran tunggal crude oil 1



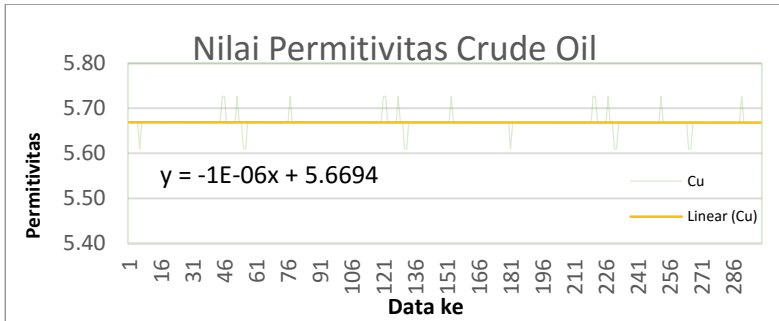
Gambar 15. Permittivitas PCB C pengukuran tunggal crude oil 1



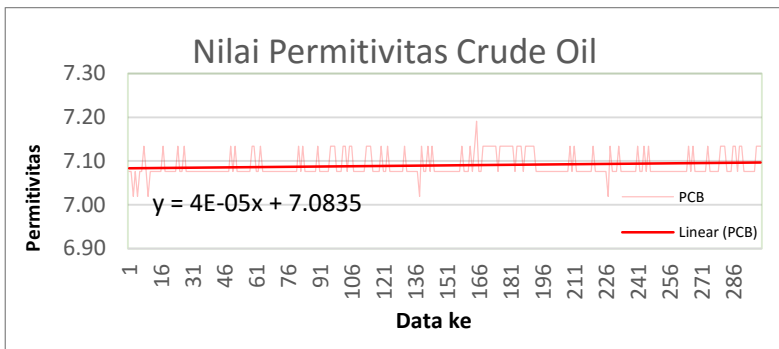
Gambar 16. Permittivitas Mo, PCB, Cu A pada crude oil 2  
pengulangan 1



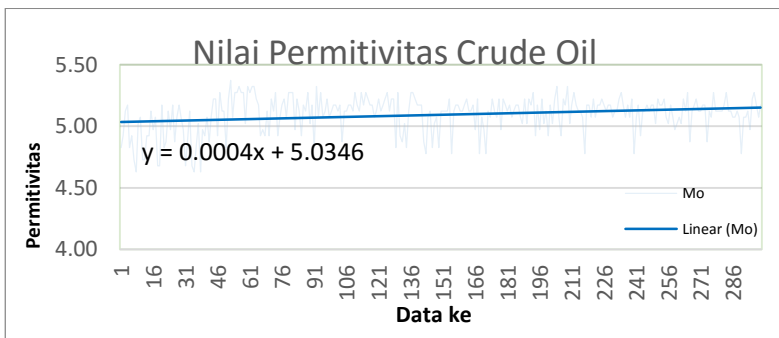
Gambar 16. Permittivitas Mo, PCB, Cu A pada crude oil 2  
pengulangan 2



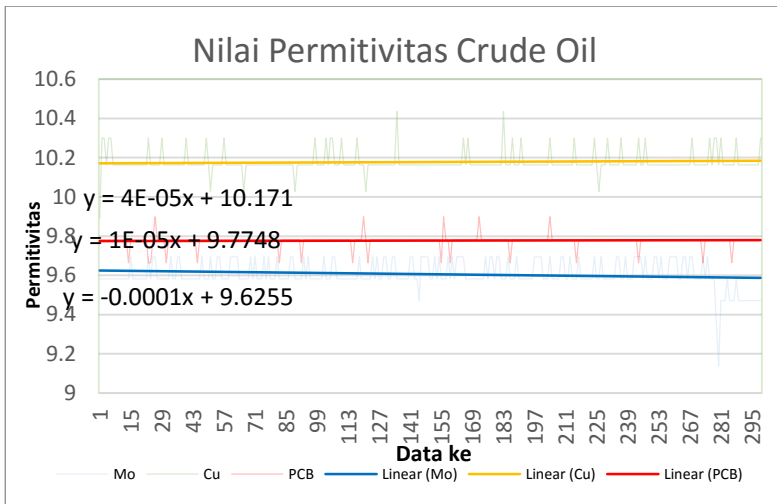
Gambar 17. Permittivitas Cu A pengukuran tunggal crude oil 2



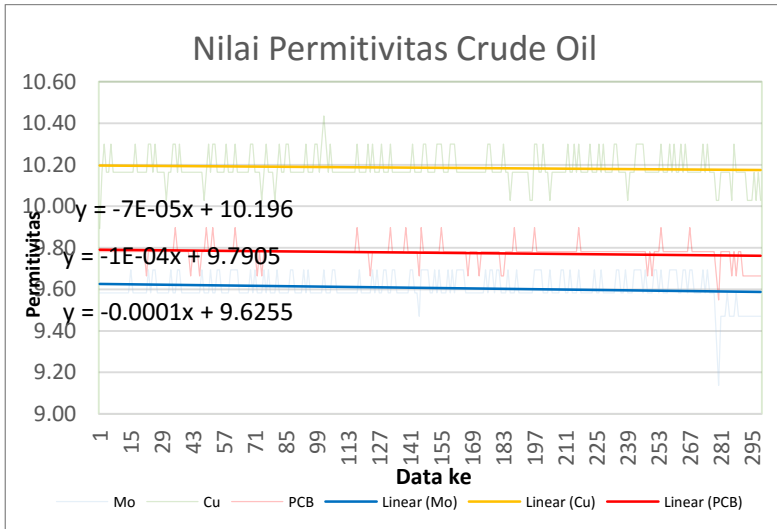
Gambar 18. Permittivitas Mo A pengukuran tunggal crude oil 2



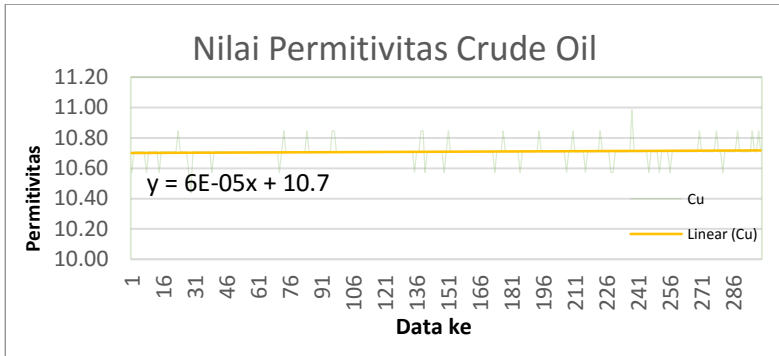
Gambar 19. Permittivitas PCB A pengukuran tunggal crude oil 2



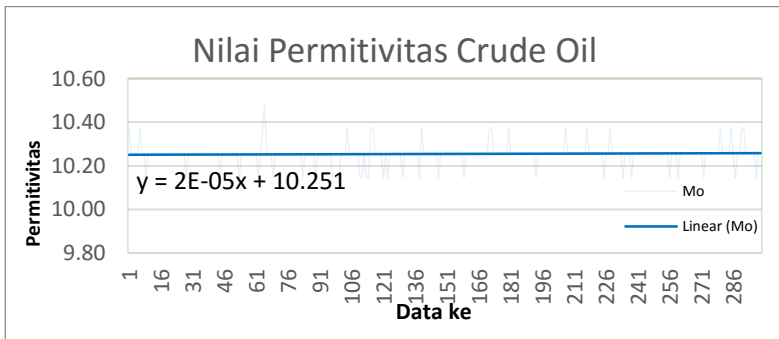
Gambar 20. Permittivitas Mo, PCB, Cu B pada crude oil 2 pengulangan 1



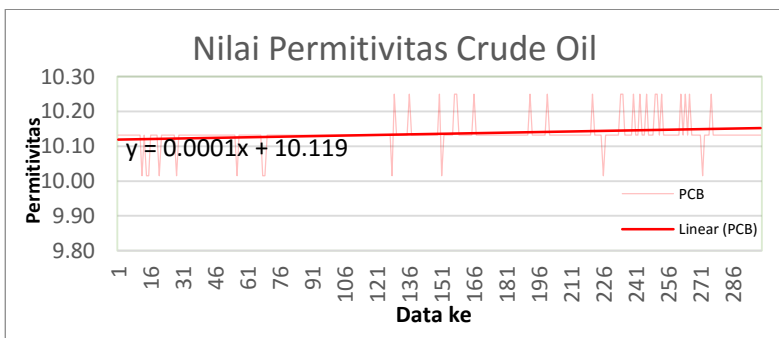
Gambar 21. Permittivitas Mo, PCB, Cu B pada crude oil 2 pengulangan 2



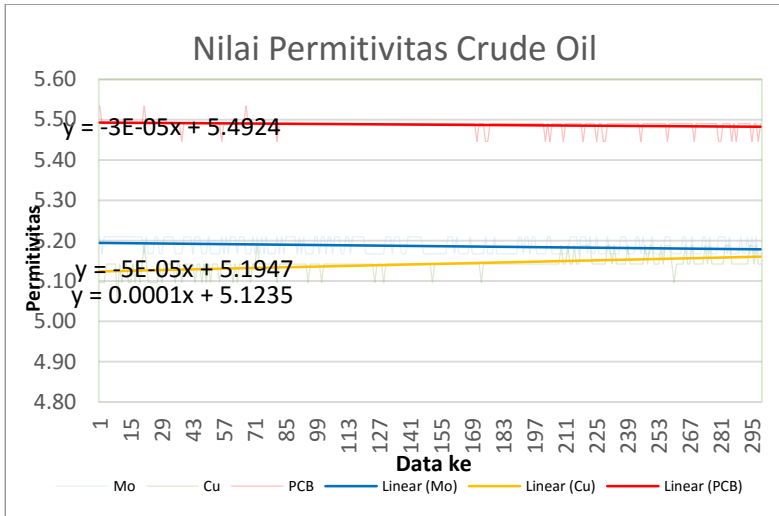
Gambar 22. Permittivitas Cu B pengukuran tunggal crude oil 2



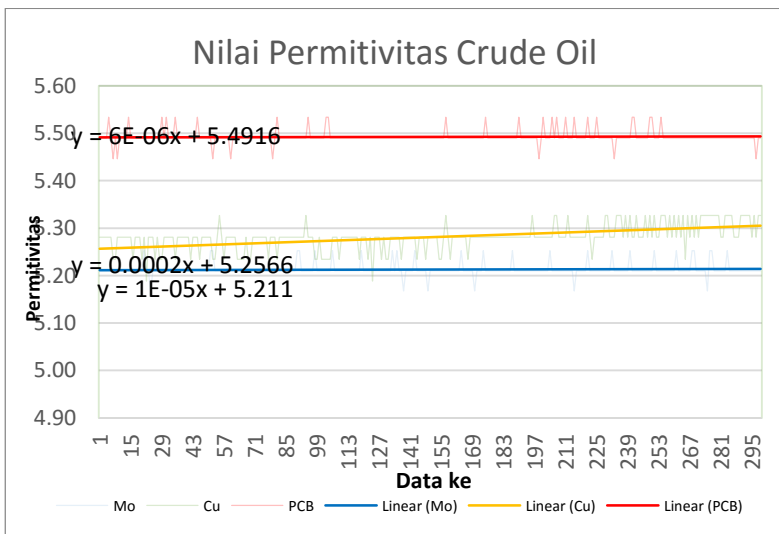
Gambar 23. Permittivitas Mo B pengukuran tunggal crude oil 2



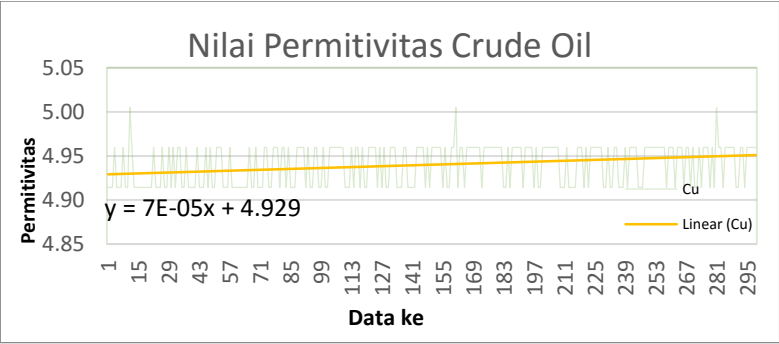
Gambar 24. Permittivitas PCB B pengukuran tunggal crude oil 2



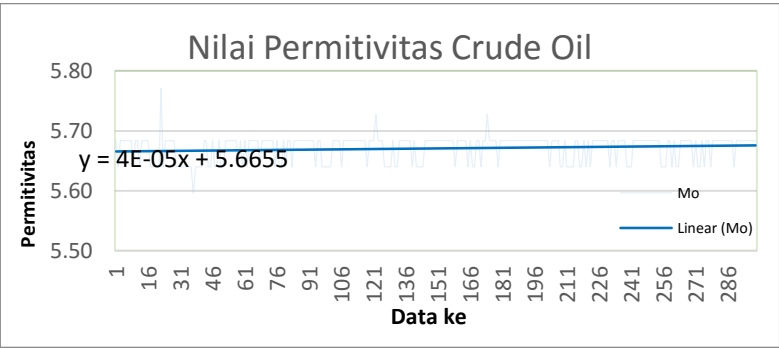
Gambar 25. Permittivitas Mo, PCB, Cu C pada crude oil 2 pengulangan 1



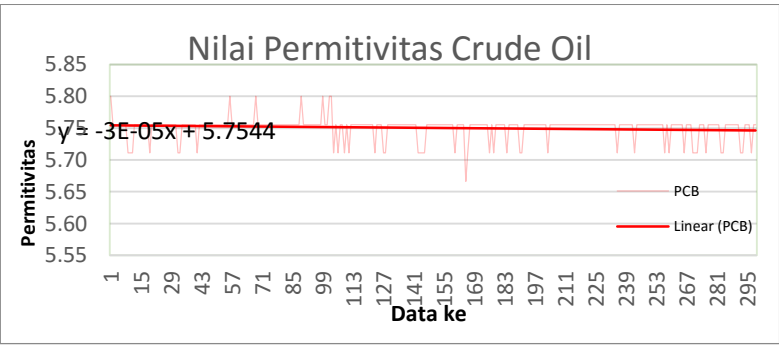
Gambar 26. Permittivitas Mo, PCB, Cu C pada crude oil 2 pengulangan 2



Gambar 27. Permittivitas Cu Cpengukuran tunggal crude oil 2

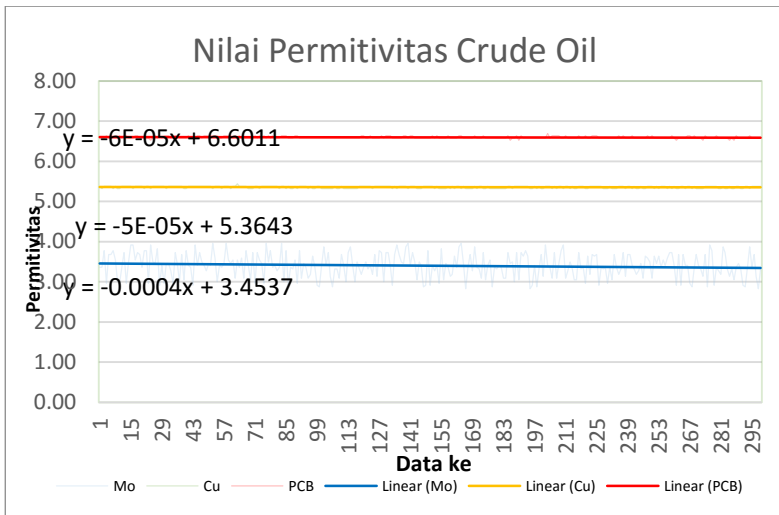


Gambar 28. Permittivitas MoC pengukuran tunggal crude oil 2

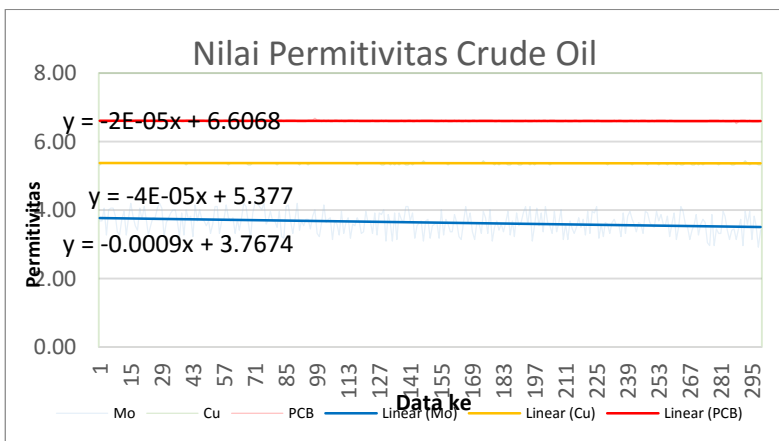


Gambar 29. Permittivitas PCB Cpengukuran tunggal crude oil 2

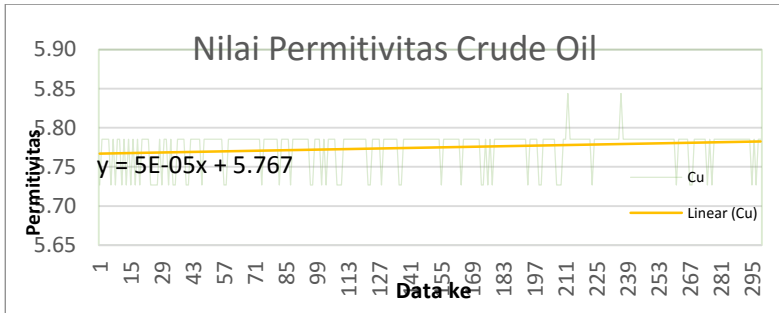




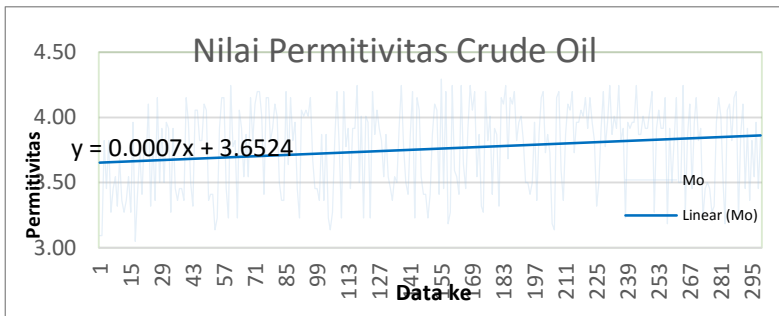
Gambar 30. Permittivitas Mo, PCB, Cu A pada crude oil 3 pengulangan 1



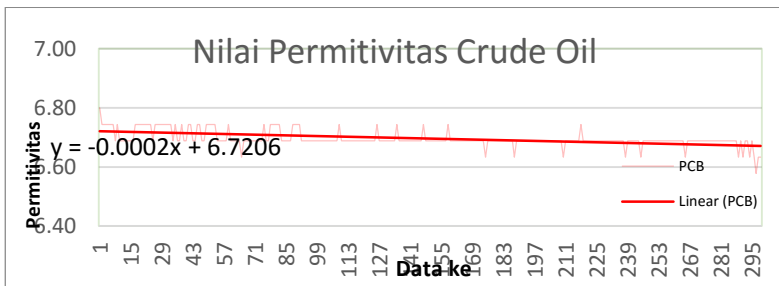
Gambar 31. Permittivitas Mo, PCB, Cu A pada crude oil 3 pengulangan 2



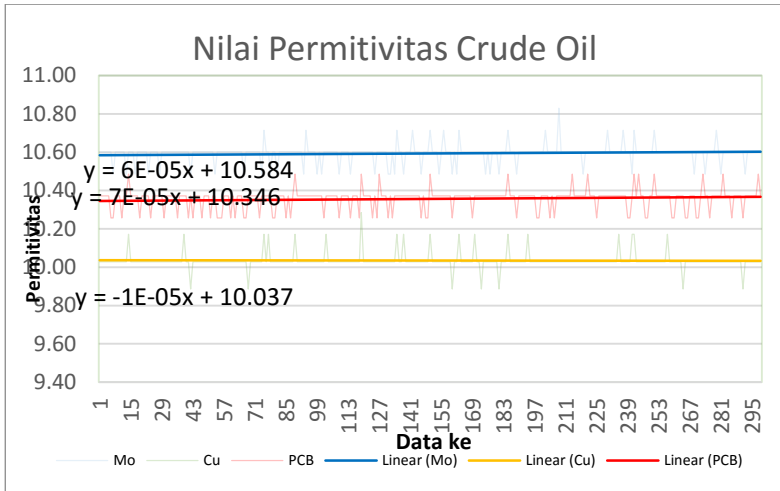
Gambar 32. Permittivitas Cu A pengukuran tunggal crude oil 3



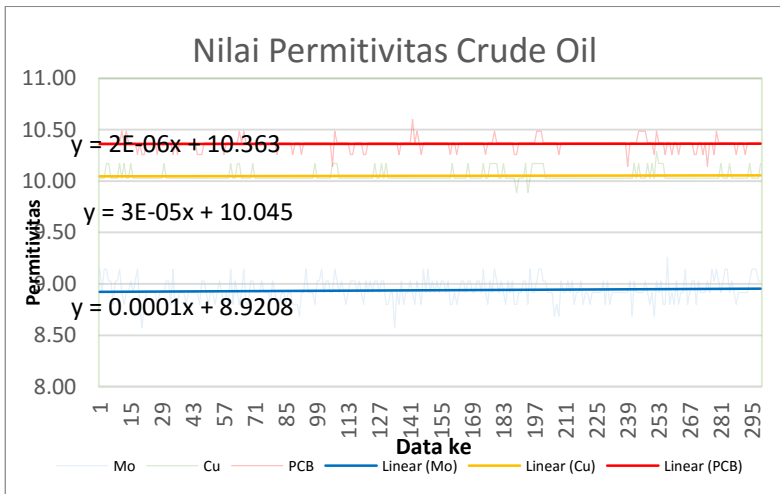
Gambar 33. Permittivitas Mo A pengukuran tunggal crude oil 3



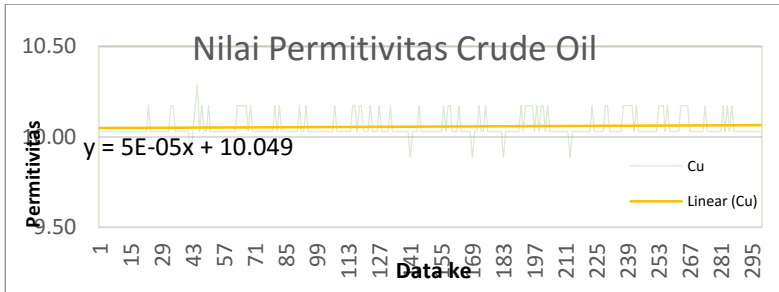
Gambar 34. Permittivitas PCB A pengukuran tunggal crude oil 3



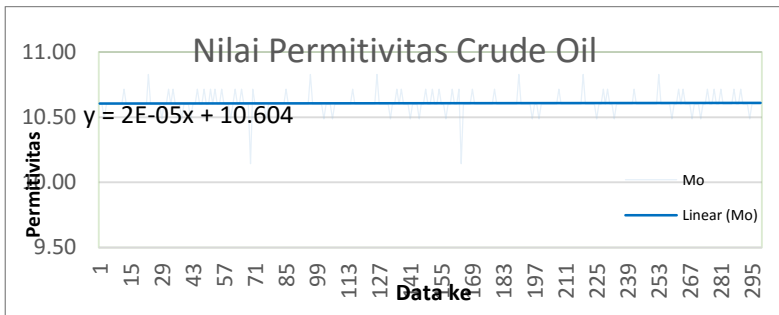
Gambar 35. Permittivitas Mo, PCB, Cu B pada crude oil 3 pengulangan 1



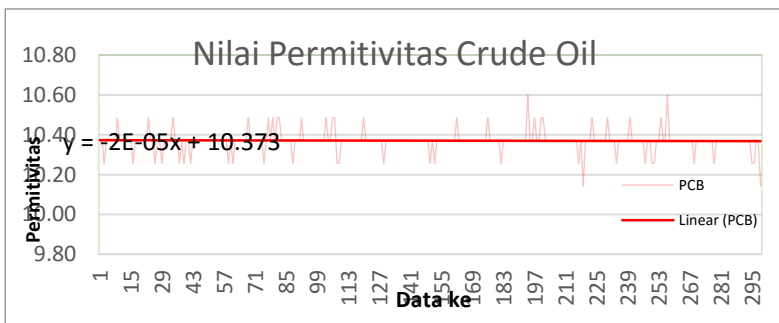
Gambar 36. Permittivitas Mo, PCB, Cu B pada crude oil 3 pengulangan 2



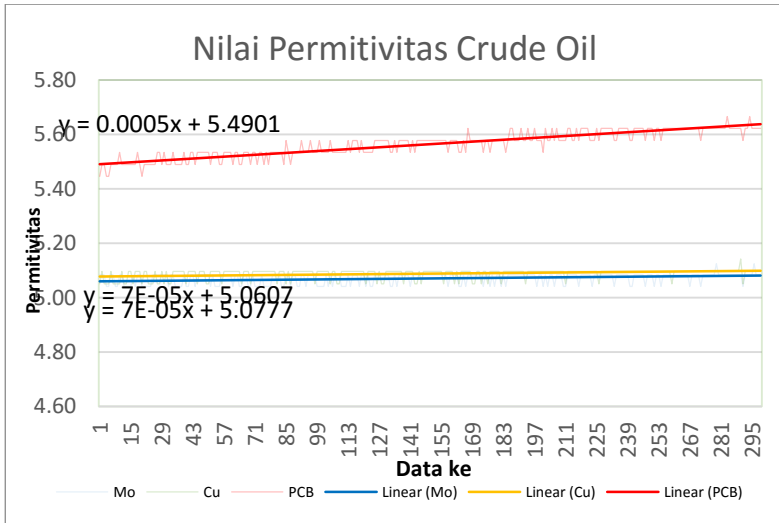
Gambar 37. Permittivitas Cu pengukuran tunggal crude oil 3



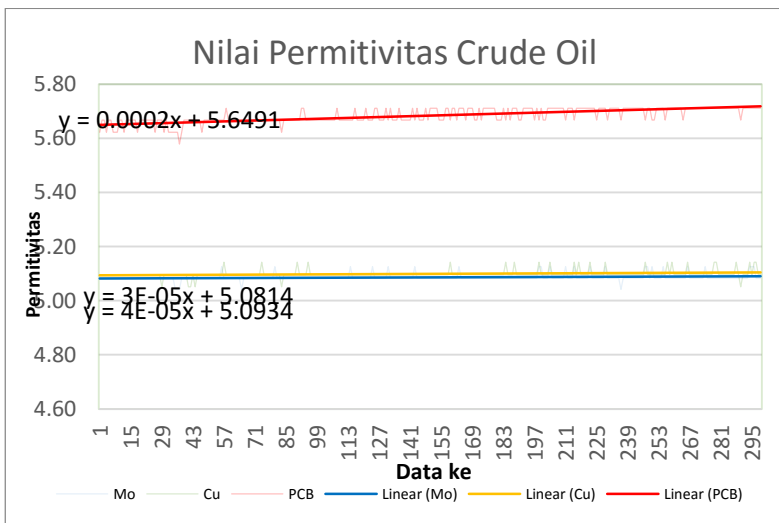
Gambar 38. Permittivitas Mo pengukuran tunggal crude oil 3



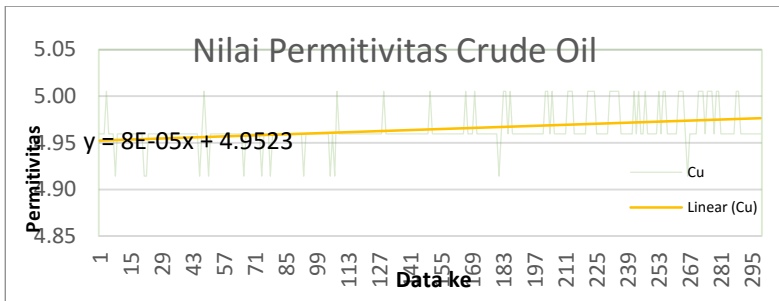
Gambar 39. Permittivitas PCB pengukuran tunggal crude oil 3



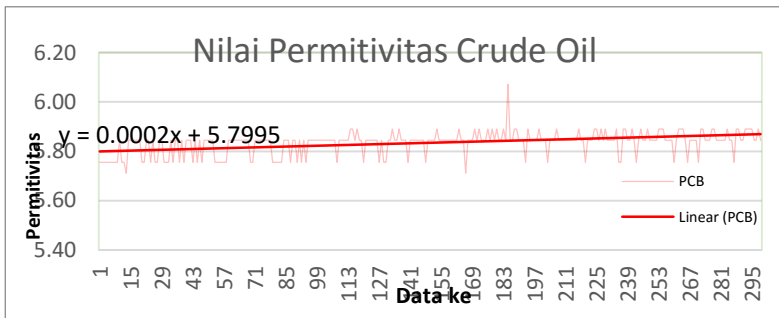
Gambar 40. Permittivitas Mo, PCB, Cu C pada crude oil 3 pengulangan 1



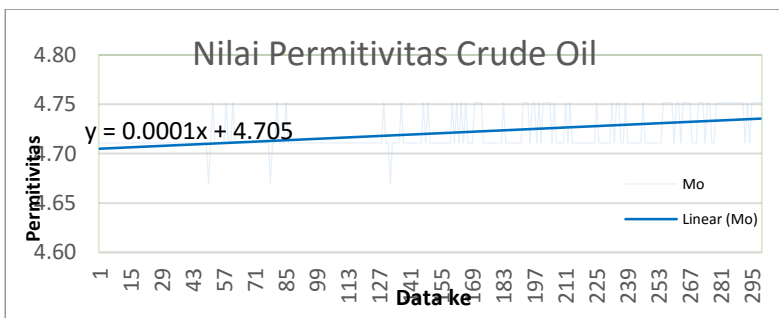
Gambar 41. Permittivitas Mo, PCB, Cu C pada crude oil 3 pengulangan 2



Gambar 3. Permittivitas Cu C pengukuran tunggal crude oil 3



Gambar 5. Permittivitas PCB C pengukuran tunggal crude oil 3



Gambar 4. Permittivitas MoC pengukuran tunggal crude oil 3

## BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Jakarta pada 6 Juli 1994, merupakan anak pertama dari 2 bersaudara dan merupakan putra dari Bapak Dyan Triono Tejo dan Ibu Myrna Suksmaningdyah. Saat ini penulis bertempat tinggal di Komp. Hankam, Blok H-15, Pondok Labu, Jakarta Selatan. Penulis telah menempuh pendidikan formal melalui pendidikan di TK Hang Tuah, SDN 04 Pagi

Pondok Labu, SMPN 85 Jakarta, dan SMAN 66 Jakarta. Setelah lulus dari SMAN 66 Jakarta tahun 2012, penulis mengikuti tes tulis SNMPTN dan diterima di jurusan Fisika FMIPA ITS pada tahun yang sama dan terdaftar dengan NRP 1112100050. Di Jurusan Fisika ini Penulis mengambil Bidang Studi Instrumentasi dan Elektronika. Penulis sempat aktif di Badan Eksekutif Mahasiswa ITS pada tahun 2013-2014 sebagai anggota departemen Riset dan Teknologi (Ristik) kabinet BEM Muda Bersahabat. Setelah itu, penulis juga berkarir sebagai jurnalis lepas di harian Jawa Pos yang berpusat di Surabaya yang banyak mengerjakan artikel seputar teknologi dan sains.